Congrés International de Génie Industriel de Montréal : La productivité dans un monde sans frontière, Montréal, Canada, 18-20 octobre 1995, Volume II, pp. 915-925.

D-CIM et IAD : une approche orientée connaissance pour la modélisation de systèmes de production distribués

Bernard ESPINASSE, Luiz Marcio SPINOSA, Eugène CHOURAQUI

DIAM- IUSPIM, Domaine Universitaire de Saint Jérôme,
Avenue Escadrille Normandie Niemen, 13397 Marseille Cedex 20 - France
(diam_lms,diam_ec,diam_be)@vmesa11.u-3mrs.fr

Résumé

Notre recherche porte sur l'ingénierie des systèmes de production distribués (D-CIM - Distributed - Computer Integrated Manufacturing) et plus particulièrement la modélisation de ces systèmes dans le cadre de l'architecture CIMOSA (Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture). L'originalité de notre modélisation repose sur une approche orientée connaissances mettant en oeuvre les systèmes multi-agents (SMA) relevant de l'Intelligence Artificielle Distribuée (IAD). Dans cet article nous présentons tout d'abord ce nouveau paradigme D-CIM, ensuite nous rappelons les principaux concepts de l'architecture CIMOSA et précisons certaines de ses limites pour la modélisation des D-CIM. Ensuite nous montrons comment ces limites peuvent en partie être dépassées par une révision du cadre de modélisation de CIMOSA selon une approche orientée connaissance conduisant à l'usage des systèmes multi-agents comme outils de modélisation. Enfin nous présentons notre démarche pour conduire cette révision.

1. Introduction

L'émergence dans des années 80 du concept de CIM (Computer Integrated Manufacturing) est principalement liée à l'évolution profonde du comportement du marché. Nous sommes en effet passé d'un marché d'offre dans lequel les fabricants déterminaient la quantité, la qualité et les caractéristiques de leurs produits en fonction de leur programme de production, à un marché de demande dans lequel les fabricants doivent répondre aux désirs d'une clientèle qui détermine les produits et leurs caractéristiques. Une telle demande à conduit, entre autre, au concept de production guidée par la commande (order driven). L'objectif principal du CIM est l'automatisation de la production par l'intégration des flux d'information et de matières grâce à la mise en oeuvre des technologies de l'information à tous les niveaux de l'entreprise [1].

Dans la recherche de plus grandes réactivité, flexibilité et adaptabilité de l'entreprise manufacturière, le début des années 90 voit émerger un nouveau concept : le Distributed-CIM (D-CIM) [2][3]. Ce nouveau concept se distingue du précédent par la recherche d'une distribution croissante de compétences dans des unités actives du système de production, leur conférant ainsi plus d'autonomie. Notre recherche concerne la conception de systèmes de production D-CIM et plus particulièrement leur modélisation.

Encore peu de travaux ont été réalisés sur le concept de D-CIM. Le laboratoire DIAM participe à la compréhension de ce concept au travers de différents travaux interdépendant développés selon soit une perspective "managériale" [7] ou soit une perspective "représentation et traitement des connaissances" (Intelligence artificielle). C'est dans cette dernière perspective que s'inscrit cette recherche, dont

l'objectif général est de proposer une approche méthodologique orientée connaissance pour la conception et la validation de systèmes de production distribués.

Dans un premier temps nous présentons ce nouveau concept D-CIM, comme une évolution naturelle du CIM classique. Ensuite, nous s'inscrivant dans l'architecture CIMOSA, nous rappelons les principaux concepts et principes sur lesquels elle repose et nous développons ses principales limites pour la modélisation des systèmes D-CIM. Puis nous montrons comment ces limites peuvent en partie être dépassées par une révision du cadre de modélisation de CIMOSA selon une approche orientée connaissance conduisant à l'usage des systèmes multi-agents comme outils de modélisation. Enfin nous développons la démarche que nous avons adopté pour conduire cette révision en nous intéressant aux ateliers flexibles de fabrication.

2. Du CIM au D-CIM

Le progrès technologique de ces dix dernières années a incité les investisseurs à créer de nouvelles entreprises conduisant à une augmentation de la compétitivité. Influencé par des facteurs économiques, sociaux et autres, le marché a été également marqué par la diminution du cycle de vie des produits ainsi que de leur prix. Afin d'assurer la compétitivité des entreprises, des stratégies ont été développées conduisant notamment à : (i) l'augmentation de la qualité à tous les stades du cycle de vie du produit; (ii) la réduction du coût de production notamment par une rationalisation de la conception et une réduction des volumes des stocks ainsi que des en-cours (juste à temps); (iii) l'augmentation de la flexibilité de production qui a conduit à une importante évolution des technologies de production (Group Technologies - G.T, Flexible Manufacturing Systems - F.M.S, etc.).

Ces diverses stratégies associées au CIM ont conduit à une automatisation de la production fondée sur l'intégration des diverses fonctions de l'entreprise au moyen des techniques de l'information. Les recherches des années 80 sur le CIM, ont principalement été centrées sur : (i) la définition d'organisations hiérarchiques; (ii) des systèmes d'informations centralisées; (iii) des systèmes de contrôle déterministes; (iv) des éléments de standardisation et (v) sur le développement de plates-formes d'intégration. Les résultats de ces recherches ont été concrétisés sous la forme de méthodologies et de modèles : la proposition de l'architecture CIMOSA (Computer Integrated Manufacturing - Open System Architecture) est des plus significatives.

Grâce aux récentes avancées dans le domaine des technologies de traitement de l'information, notamment la technologie des bases de données (bases de données orientées objets) et les systèmes à base de connaissance (Intelligence Artificielle), les systèmes de production sont actuellement en train de passer d'un environnement fortement guidé par les données à un environnement plus coopératif guidé par l'information/connaissance, prenant de plus en plus en compte les savoir et savoir-faire de l'entreprise, concourant ainsi à augmenter encore l'intégration de cette dernière [4].

Ces récentes avancées des technologies de l'information ont conduit au début des années 90 à l'émergence d'un nouveau concept, le CIM distribué ou D-CIM (Distributed CIM) [3][5]. Le D-CIM doit être considéré comme une évolution " naturelle " du CIM classique. L'objet principal de cette distribution, supportée par ces nouvelles technologies de traitement de l'information et des connaissances est d'améliorer encore la réactivité et l'adaptabilité des systèmes de production. Nous pouvons distinguer dans le D-CIM deux grands types de distributions :

a) la distribution intra-organisationnelle : elle concerne les systèmes de production distribués sur un même site [6] [7];

b) la distribution inter-organisationnelle (voir figure 1) : elle concerne les systèmes de production distribués sur différents sites [3]. Le projet européen RACE-DIMUN [8] en est un exemple.

La distribution préconisée dans le D-CIM est rendue possible en dotant les unités ou entités actives, qui composent les systèmes de production, de plus d'autonomie. L'accroissement d'autonomie au niveau de ces entités actives réduit le renvoi de prises de décision à d'autres niveaux et, en conséquence, réduit le transfert d'informations entre les entités décisionnelles améliorant ainsi la réactivité des systèmes de production. L'autonomie peut être acquise de plusieurs façons, entre autres

par décentralisation décisionnelle, par décentralisation de compétences ou par ajout de compétences (compétences fonctionnelles ou de coopérations avec autres entités).

L'objectif du D-CIM est de doter le système de production d'une structure organisationnelle plus flexible, plus adaptative (notamment en production guidée par la commande). Cette structure, de nature hétérarchique, est supportée par un réseau d'entités fonctionnelle autonomes et coopératives, entités consistant en des centres décisionnels et/ou opérationnels, l'ensemble étant gouverné selon une logique de processus d'affaire (business processes). Le concept D-CIM est largement associé tout d'abord à l'ingénierie concurrente (ou simultanée) [5] mais aussi à la notion plus récente "d'entreprise virtuelle" dans un contexte de distribution inter-organisationnelle. Nous entendons par entreprise virtuelle une fédération de sous-traitants (d'autres entreprises) partenaires pour un temps donné, afin d'accomplir une tâche spécifique, par exemple la conception et/ou la fabrication d'un produit.

La compréhension du concept D-CIM et par là même la modélisation des systèmes de production distribués, nous conduisent ainsi à l'étude :

a) de la distribution des responsabilités et des capacités décisionnelles sur les unités actives composantes d'un système de production;

b) de la coopération entre ces unités autonomes dans le cadre d'une logique de processus.

L'évolution récentes des technologies de l'information d'une part, la tendance actuelle à distribuer les systèmes de production afin de les rendre plus réactifs et adaptatifs d'autre part, conduisent à privilégier une modélisation de ces systèmes à la fois orientée connaissance et distribuée.

Dans cette modélisation, pour conduire l'intégration des diverses fonctions de l'entreprise au moyen des technologies de l'information, il est nécessaire de disposer d'un cadre méthodologique proposant des modèles généralisés et une architecture ouverte de système permettant d'identifier et de représenter les principaux composants, processus et activités, les principales sources d'information, de décisions et de contraintes nécessaires au fonctionnement de l'entreprise. Il faut de plus disposer d'une infrastructure intégrante permettant d'exécuter le modèle spécifié pour contrôler les opérations de l'entreprise. L'architecture CIMOSA constitue un tel cadre méthodologique. Aussi notre recherche sur la modélisation des systèmes D-CIM, modélisation orientée connaissance, s'inscrira-t-elle dans le cadre de modélisation déjà proposé et validé de CIMOSA, dont nous allons rappeler les concepts et principes essentiels.

3. CIMOSA et le D-CIM

L'architecture CIMOSA (Computer Integrated Manufacturing - Open System Architecture), développée et validée dans plusieurs projets européen du programme ESPRIT [CIMOSA 91], plus qu'une architecture générale, doit être considérée comme une méthodologie complète de mise en oeuvre de systèmes CIM. Considérant le D-CIM comme une évolution "naturelle" du CIM classique, CIMOSA doit pouvoir être utilisée, avec des aménagements mineurs, pour l'ingénierie des D-CIM. Aussi nous allons tout d'abord brièvement présenter les principaux concepts et modèles de la méthode CIMOSA et ensuite évaluer si cette dernière peut prendre en compte la problématique D-CIM.

3.1. Concepts et principes de CIMOSA

Tout d'abord CIMOSA s'articule autour de trois composants essentiels : (i) un cadre de modélisation (Modeling Framework) structurant la modélisation du système de production; le cycle de vie du système (System Life Cycle) décrivant les tâches devant être utilisées pour générer les modèles CIMOSA; (iii) une infrastructure d'intégration (Integrated Infrastructure) fournissant un ensemble de services supportant l'exécution des modèles CIMOSA dans un environnement hétérogène. Dans le cadre de notre recherche nous nous intéressons dans un premier temps exclusivement au cadre de modélisation. Celui-ci repose sur trois grands principes de modélisation [17] :

- *le principe d'instanciation* : suggère de construire le modèle particulier de l'entreprise à partir de modèles partiels, eux-mêmes exprimés en termes de constructions génériques de base ("constructs"). Les modèles partiels sont des modèles applicables à des secteurs industriels exprimés aussi en termes de constructions génériques de base;

- *le principe de dérivation* : s'articule autour de trois niveaux de description : les besoins, les spécifications de conception et l'implantation. Il consiste à modéliser d'abord les besoins de l'entreprise (le quoi), puis les spécifications de conception (différents modèles peuvent être développés pour étudier diverses alternatives par le biais de la simulation) et enfin la description de l'implantation (précisant les ressources humaines et les composants manufacturiers et informatiques mobilisés);
- *le principe de génération* : propose de modéliser suivant quatre vues : *fonctionnelle*: description des objectifs, contraintes, règles déclaratives de l'entreprise, fonctionnalités et comportements des fonctions de celle-ci); *informationnelle*: spécification, conception, analyse et description de l'implantation des aspects informationnels; *relative aux ressources*: spécification et description des composants physiques; *organisationnelle*: définition des responsabilités individuelles.

La modélisation aux trois niveaux de description se fait selon les quatre différentes vues et doit conduire à un modèle exécutable de l'entreprise. La figure suivante, “le cube CIMOSA”, illustre ce cadre de modélisation.

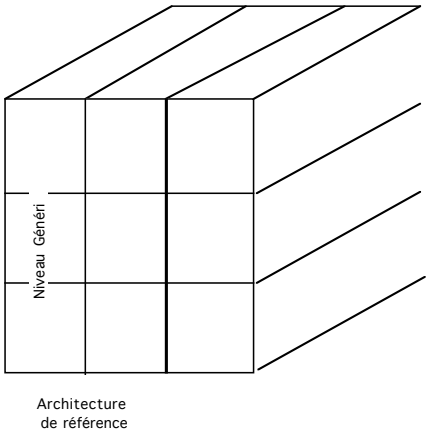

Figure 1: Le cube CIMOSA.

Ce bref rappel de CIMOSA étant fait, nous allons maintenant nous intéresser au cadre de modélisation proposé dans CIMOSA et évaluer si celui-ci est adapté à la problématique spécifique du D-CIM.

3.2. Prise en compte de la problématique D-CIM dans CIMOSA

La problématique du D-CIM, c'est avant tout la distribution. La prise en compte de la distribution par le cadre de modélisation de CIMOSA concerne à la fois les quatres vues (fonctionnelle, information, ressource et organisation) et les trois niveaux (besoin, spécification et implantation). Elle doit de plus être compatible avec les trois principes essentiels de la modélisation CIMOSA : l'instantiation, la génération et la dérivation. Nous aborderont la prise en compte de la distribution selon trois aspects essentiels : (i) la distribution des compétences; (ii) la distribution décisionnelle; et (iii) la coopération.

La distribution des compétences

D’un point de vue fonctionnel, CIMOSA permet une séparation claire entre fonctionnalité et comportement des fonctions de l'entreprise. Ainsi, elle préconise la spécification du système en terme de processus et d'activité plutôt qu'en terme de fonctions. Pour cet aspect distribution des compétences nous nous intéressons plus particulièrement à la spécification des fonctionnalités.

Dans CIMOSA les unités actives du système de production partageant des objectifs et contraintes communs peuvent être regroupées en "Domain" (D). Chaque unité peut être représentée par des constructions génériques de base ou "constructs" (que l'on peut qualifier schématiquement de primitives de modélisation) appelés "Domain Process" (DP). Les DP sont par nature autonomes et sont activés uniquement par des événements prédéfinis et produisent des résultats aussi prédéfinis. Les DP à leur tour sont décomposables en d’autres constructs appelés "Business Process" (BP) et "Enterprise

Activities" (EA). Les BP décrivent le flux de contrôle des DP. Les EA décrivent les fonctionnalités du DP à travers des tâches (ou fonction) élémentaires.

Ainsi en ce qui concerne la distribution de compétences, les trois éléments (D, BP, EA) proposés par CIMOSA et perçus selon la vue fonctionnelle, mais aussi enrichis par les vues information, ressource et organisation peuvent être étendus à la prise en compte de la distribution des compétences des D-CIM en leur associant notamment des aspects cognitifs permettant des compétences requises par ces constructs et leur distribution dans des unités actives du système D-CIM.

La distribution décisionnelle

Pour aborder cette distribution décisionnelle nous nous intéressons plutôt à la spécification des comportements. Dans CIMOSA, la prise de décision dans l'entreprise se fait à plusieurs niveaux : opérationnel, tactique et stratégique. Au niveau opérationnel les décisions sont principalement traitées par les constructs appelés "Activity Behaviour" (AB). Les AB sont engagés par les EA. Les "Process Behaviour" (PB) mis en oeuvre par les DP et les BP représentent la logique décisionnelle à un niveau tactique. Enfin, on associera aux décisions de niveau stratégique les "Declaratives Rules" (DR) qui sont des combinaisons logiques complexes des objectifs et contraintes commerciales applicables à la fois sur les DP, BP et EA. Ces règles définissent comment et quand des objectifs et contraintes doivent être appliqués. Ils définissent le contrôle du processus de prise de décision à un niveau plutôt stratégique.

Ces éléments concernent plutôt l'aspect fonctionnel lié à la prise de décision. Pour la coordination du processus décisionnel, il est de plus nécessaire de définir à qui est attribué la prise de décision. C'est ce que nous permettent les constructs liés à la vue organisationnelle (Organization View). Par exemple le construct "Specified Organization Cell" (OC) possède deux attributs (general rules et decision level) le permettant. Le lien entre ces éléments et le reste de la modélisation se fait au travers du construct "Specified Organisation Element" (SOE).

Ces éléments de modélisation de CIMOSA ne permettent qu'une prise en compte partielle de la distribution décisionnelle associée à la problématique du D-CIM. En effet, relativement à la distribution décisionnelle, CIMOSA ne permet pas de spécifier l'autonomie décisionnelle des unités actives du système D-CIM que seul la prise en compte d'aspects cognitifs associés à ces unités permettrait. Les constructs proposés sont principalement adaptés à la modélisation d'un raisonnement déterministe et monotone, conférant aux modèles une grande robustesse mais au détriment d'une flexibilité décisionnelle. La prise en compte d'aspects cognitifs permettant de raisonner de façon non-déterministe et non-monotone pourrait accroître cette flexibilité. Enfin, la hiérarchie décisionnelle imposée par les constructs CIMOSA est assez contradictoire avec l'organisation hétérarchique associée au concept D-CIM.

La coopération

L'aspect coopération dans CIMOSA peut être appréhendé comme une conséquence des deux aspects précédents mobilisant les quatre points de vues. Nous nous intéressons ici, à titre d'exemple, seulement au point de vue organisationnel. Les constructs "Organization Relationship" (OR) et "Organizational Guidelines" (OG) sont ainsi principalement concernés. Ils vont fixer les rapports entre les éléments organisationnels de l'entreprise (OR) et contrôler la décentralisation et la délégation du pouvoir de décision (OG).

Ainsi, en ce qui concerne la coopération, CIMOSA n'offre pas toutes les possibilités requises par la problématique D-CIM. Il semble que la coopération, centrale dans la problématique D-CIM, ne soit pas vraiment un centre d'intérêt des systèmes CIM, et en conséquence ne soit pas explicitement pris en compte dans CIMOSA.

Le cadre de modélisation proposé par CIMOSA s'avère ainsi limité dans la prise en compte de la problématique D-CIM. Les principales faiblesses de la modélisation CIMOSA peuvent être résumées ainsi :

a) incapacité à exprimer des aspects cognitifs permettant d'assigner aux unités actives plus d'autonomie et de capacités décisionnelles. Le FBS (Function - Behaviour - Structure) paradigme de modélisation de la vue fonctionnelle de CIMOSA, représente et manipule les constructs au travers du concept d'objet du génie logiciel, concept mal adapté à la représentation de la connaissance.

b) insuffisance à prendre en compte les notions de distribution et de coopération entre des unités actives composant le système de production. Dans CIMOSA la notion de distribution est seulement pris en compte et assurée par le concept de base de données intégrées.

D'autres limitations plus techniques, liées aux outils de modélisation proposés par CIMOSA peuvent être avancées : Tout d'abord les modèles proposés dans CIMOSA sont rigides tant d'un point de vue structural que d'un point de vue comportemental. Les modèles comportementaux reposent sur une structure guidés par les événements (event-driven network) conférant ainsi un comportement déterministe interdisant ainsi la considération d'événements non définis à priori. Ensuite, la notion de transaction, qui définit les rapport entre les unités, n'est pas conçue pour prendre en compte l'adaptabilité requise par les concepts de coopération et de communication du D-CIM. Les transactions sont exprimées dans CIMOSA dans une sémantique trop rigide et trop limitée.

Pour conclure, CIMOSA constitue un cadre de modélisation fort riche mais mal adapté à la problématique D-CIM. Cependant, les faiblesses de CIMOSA nous semblent pouvoir être en partie dépassées par une révision du cadre de modélisation de CIMOSA selon une approche orientée connaissance conduisant à l'usage des systèmes multi-agents (SMA) comme outils de modélisation.

4. Une modélisation orientée connaissance du D-CIM

Les SMA sont issus des récents développements de l'Intelligence Artificielle Distribuée (IAD) dont l'émergence est liée à des travaux de recherche sur la concurrence et la distribution et qui a pour objet de remédier aux insuffisances de l'IA classique [12]. L'IAD propose une distribution de l'expertise sur un groupe d'agents devant être capable de travailler et d'agir dans un environnement commun et résoudre des conflits éventuels, d'où l'apparition de nouvelles notions centrales comme la coopération, la coordination la négociation et l'émergence [16]. L'étude des SMA porte sur la coordination entre plusieurs agents autonomes et intelligents, comment peuvent-ils coordonner leurs connaissances, buts, compétences et plans pour agir et résoudre des problèmes.

L'usage des SMA comme outil de modélisation pour décrire des systèmes industriels complexes a déjà été proposé [13][18][5][14]. Les SMA constituent un outil de modélisation adapté à la modélisation des systèmes D-CIM pour les raisons suivantes : (i) leur puissance en tant qu'outil de modélisation de connaissances, plus précisément leur capacité à décrire des domaines complexes et leur souplesse permettant la mise à jour des modèles ; (ii) leur capacité d'exécutabilité et/ou de simulation permettant la validation de modèles et (ii) leur capacités à appréhender des notions telles que la distribution, la coopération, la coordination, la négociation, ...

Nous développons maintenant comment, tout en restant fidèle aux principes généraux de CIMOSA, nous pensons modéliser un système D-CIM avec des SMA. Ensuite, nous précisons la démarche que nous avons adopté pour conduire la révision du cadre de modélisation de CIMOSA en nous intéressant tout d'abord aux ateliers flexibles de fabrication.

4.1. Paradigme de modélisation adopté

Tout d'abord précisons que nous nous intéressons exclusivement au processus de conception et validation de modèles D-CIM. Bien que soucieux des aspects d'implantation de tels modèles, nos travaux ne relèvent pas des aspects opérationnels de l'implantation. Cette considération réduit notre champ d'étude d'une part à l'architecture de référence de CIMOSA et ensuite aux modèles soit définissant les besoins soit spécifiant la conception. Nous ne nous intéressons pas à l'architecture particulière et aux modèles décrivant l'implémentation, comme l'illustre la figure suivante :

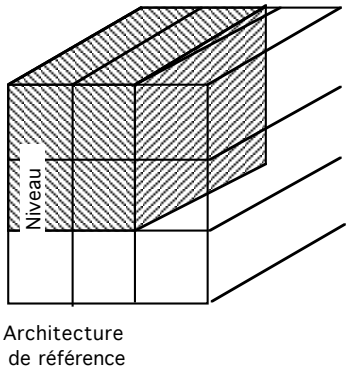

Figure 2 : Partie du cadre de modélisation de CIMOSA concerné par notre étude.

Pour décrire les unités actives composant un système de production distribué selon une approche orientée connaissance, il est nécessaire de disposer d'un paradigme de modélisation. En s'inspirant de la définition de celui fournit par CIMOSA, celui-ci se composera de (i) concepts de haut-niveau, (ii) d'un ensemble ouvert et structuré de primitives, (iii) d'un ensemble de modèles, et (iv) de méthodes et méthodologies pour décrire les propriétés dynamiques et statiques de systèmes de production distribués.

Les concepts de hauts de niveau reposent sur le postulat suivant : Tout système de production distribué (ou non) peut être décrit et représenté au travers de SMA, reposant à leur tout sur les concepts d'agent, d'organisation (d'agents) et de coopération. Un ensemble ouvert et structuré de primitives permet la mise en oeuvre de concepts spécifiques au systèmes multi-agents associés aux concepts de base précédents. Ces primitives sont essentiellement référencées par un ensemble de constructs respectant le principe général d'instantiation de CIMOSA. Le troisième composant du paradigme de modélisation - *les modèles* - ils sont construits (i) à des niveaux d'abstraction et selon le principe de dérivation et (ii) ils possèdent cependant une structure organisée selon des points de vues différent du principe *de génération* proposé par CIMOSA. En effet, l'approche multi-agents permet une intégration partielle des quatres vues proposées par CIMOSA (fonctionnelle, informationnelle, ressource et organisation). Enfin, le dernier composant - *méthodes et méthodologies* - elles correspondent à un guide d'utilisation articulée des composants précédents du paradigme de modélisation.

4.2. Modélisation multi-agents d'un système D-CIM

Comme nous l'avons vu précédemment, notre paradigme de modélisation s'inscrit dans le cadre de celui proposé par CIMOSA et repose sur trois concepts majeurs : les concepts d'agent, d'organisation (d'agents) et de coopération auxquels sont associés d'autres concepts constituants les primitives de modélisation. Nous allons les définir maintenant de façon détaillée en nous appuyant sur [20].

Concept d'agent - AGm - :

Les agents sont des entités physiques ou abstraites et sont capables d'agir sur leur environnement et sur elles-mêmes, c'est à dire de modifier leur propre comportement. Elles disposent pour ce faire, d'une représentation partielle de cet environnement, de moyens de perception et de communication. La distribution des connaissances parmi les agents du groupe est un point fondamental assez similaire à la répartition des données dans des bases de données d'un système d'information, elle peut être réelle ou virtuelle, être redondante ou non, conduire ou non à la définition de modalités de partage. A un extrême les agents peuvent disposer de la même connaissance, à un autre extrême, chaque agent a sa propre connaissance sans aucune intersection avec les connaissances des autres, entre ces extrêmes une distribution des connaissances est définie, dans le cas intermédiaire, l'agent dispose de connaissances qu'il est prêt à partager selon des modalités à définir.

Concept d'organisation (ou société d'agents) - ORGn -

Les organisations sont des ensembles d'agents rassemblés selon une structure organisationnelle constitué à un instant donné afin d'atteindre un(des) but(s) spécifique(s). Les structures organisationnelles se différencient selon trois critères principaux : (i) le type de décentralisation (ex.

faible, forte, intra or inter-organisationnelle); (ii) le type des agents appartenant à la société (ex. groupe formé par les machines d'usinage) et (iii) le mode de coopération entre les agents.

La structure organisationnelle des agents conditionne fortement la somme des informations traitées et la coordination nécessaire pour que les agents agissent de façon efficace. De nombreux types d'organisations ont déjà été étudiés et comparés (souvent en référence à la Théorie des Organisations) afin d'assigner des rôles aux agents et ce concentrer sur le processus décisionnel [21]. Une première comparaison peut se faire selon trois axes : quantité de traitement nécessaire, quantité de coordination requise, degrés de vulnérabilité [22]. Une deuxième comparaison peut porter sur une mise en correspondance entre types d'organisation et natures de problème à résoudre [21]. Ainsi Fox articule complexité et incertitude associées aux tâches à réaliser avec le niveau de rationalité limitée dont dispose les agents dans le type d'organisation les associant. On peut enfin conduire cette comparaison en mettant l'accent sur la nature transitoire du processus décisionnel de groupe et évaluer la flexibilité et la dynamique des agents dans une organisation donnée [23].

Concept de coopération - © -

La coopération entre les agents peut être appréhendée selon de trois concepts principaux suivants : (i) *la coordination* (acte de gérer les interdépendances des différentes activités exécutés pendant la réalisation d'un but); (ii) *l'organisation* (soit elle désigne le processus qui permet la décomposition des tâches en sous tâches, l'allocation des tâches aux agents et l'accomplissement des ces tâches, soit elle détermine le statut et les comportements des agents - les rôles - et les relations qui permettent d'unir les agents au sein d'un groupe par rapport à la décision ou par rapport à la coordination) et (iii) *la communication* (ensemble de processus physiques et psychologiques par lesquels s'effectue l'opération de mise en relation d'un agent - l'émetteur - avec un ou plusieurs agents - les récepteurs - dans l'intention d'atteindre certain objectifs)

La coopération est indispensable dans la résolution de problème par plusieurs agents pour résoudre des conflits pouvant apparaître, pour l'allocation de ressources limitées, pour réconcilier des préférences différentes et rechercher des solutions dans un espace global à partir d'information locale. Les mécanismes de coopération sont basés sur un échange d'informations de diverses natures : données, faits, connaissances, plans, solutions, préférences, contraintes,... Pour aborder l'élaboration de stratégies de coopération cohérentes entre les agents (minimisant les conflits), on peut tout d'abord s'intéresser aux types d'organisation pouvant les fédérer pour assigner des rôles aux agents et ce concentrer sur le processus décisionnel (cf. point précédent).

Un certain nombre de mécanismes de coordination ont été développés en IAD, définissant chacun un protocole fixant le moment choisi pour les activités, des synchronisations d'événements, des séquences d'actions et les contenu des messages échangés dans le processus de coordination. Shaw et Fox [25] distinguent sept types de coordination : par révision d'action, par synchronisation, par négociation, par médiation structurée de groupe, par satisfaction opportuniste de but, par échanges de préférences et enfin par raisonnement sous contraintes. Différentes méthodes pour améliorer la coopération et éviter des conflits ont déjà été définies : (i) proposition d'un cadre de négociation aidant les agents à atteindre un accord pour la décomposition et l'allocation de tâche, la détermination d'organisation,...(Contract-net [24]); (ii) utilisation de méthodes de décomposition de problèmes et d'allocation de sous-tâches permettant la répartition de tâches parmi des agents [27]; (iii) développer l'échange de résultats partiels, lorsque des agents travaillent sur des tâches qui ont un degré de "communauté" (commonality), pour converger vers des résultats globaux [24]; (iv) enfin la planification multi-agents permettant d'atteindre une meilleure coordination des agents en leur assignant les tâches après un raisonnement sur les conséquences de la réalisation de ces tâches dans des séquences particulières [26].

4.3. Démarche adoptée pour réviser le cadre de modélisation de CIMOSA

Notre objectif est de proposer une révision du cadre de modélisation de CIMOSA adaptée à la problématique des système de production distribués (D-CIM) selon une approche orientée connaissance conduisant à l'usage des SMA comme outil de modélisation. Nous travaillons actuellement à la définition de grands axes théoriques de distribution possible d'un système de production D-CIM. Ensuite, notre démarche est de nature plus expérimentale. Nous partirons d'un atelier flexible de fabrication du domaine de l'aéronautique.

Étape 1: La première étape sera de modéliser cet atelier dans le cadre de modélisation standard de CIMOSA. Nous modéliseront les spécifications de conception de notre atelier flexible à un niveau partiel, selon les différentes vues (fonctionnelle, informationnelle, ressource et organisation) , en nous appuyant sur des constructs proposés au niveau générique et en mettant en oeuvre les principes d'instanciation et de dérivation de CIMOSA.

Étape 2: La deuxième étape consistera à développer selon une démarche inductive une première modélisation multi-agents des spécifications de conception de cet atelier flexible au niveau partiel. De cette première modélisation multi-agents, en nous appuyant sur les grands axes de distribution que nous sommes en train de définir, nous en dériverons de nouvelles modélisations, toujours multi-agents spécifiant toujours plus de distribution.

Étape 3: La troisième étape consistera, à partir de ces modélisation multi-agents de niveau partiel et spécifiant les spécifications de conception, de faire émerger les constructs multi-agents de définition de besoin et de spécification de conception (constructs multi-agents) qui, par les principes de dérivation et d'instanciation donneront la modélisation multi-agents partielle de conception de notre atelier.

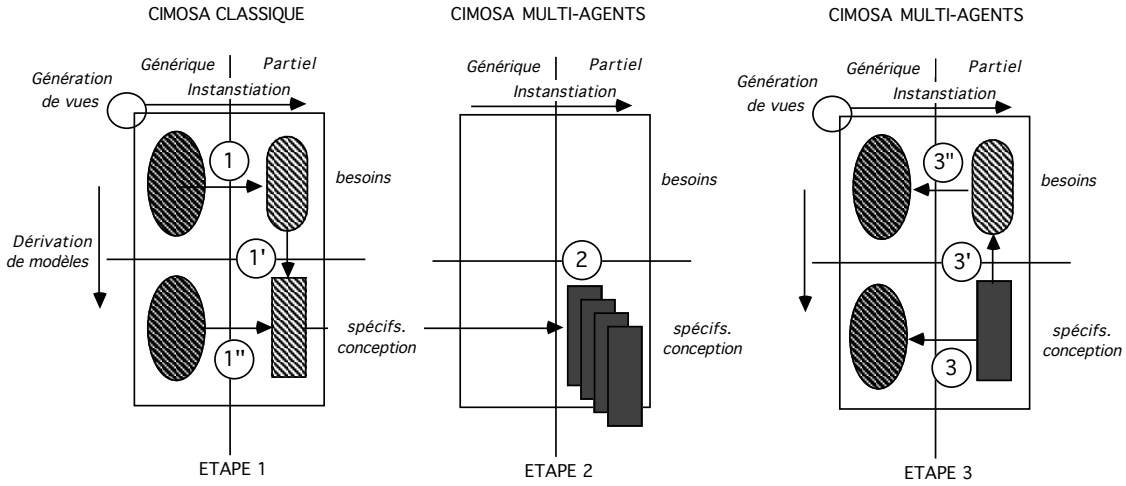

Figure 3 : Démarche adoptée pour réviser le cadre de modélisation de CIMOSA.

La figure 3 illustre cette démarche pour la révision du cadre de modélisation de CIMOSA. La description formelle des concepts multi-agents utilisés sera faite dans le langage OBJLOG+ [15], langage à base de frames possédant comme caractéristiques principales l'extensibilité et l'auto-référence.

5. Conclusion

Ces travaux doivent nous permettre tout d'abord de définir un modèle générique multi-agents permettant la génération de modèles D-CIM pour les ateliers flexibles de fabrication. Ils doivent aussi nous permettre de définir l'architecture générale d'un atelier prototype orienté connaissance pour la conception et la validation de ces modèles. A terme, ces recherches devraient nous permettre de proposer une évolution assez profonde de CIMOSA adaptée à la problématique des systèmes de production distribués.

Références

[1] H.Baumgartner, K.Knischewski, H.Wieding, *CIM. Proposition pour une mise en œuvre de la productique*, Teknéa-Siemens, 1991.

[2] B.E.Hirsch, T.Kuhlmann, Z.Marciniak, C.Massow, "Intelligent applications integration for distributed production", *European Workshop on Integrated Manufacuring Systems Engineering*, Grenoble, France, dec 12-14, 1994, pp. 493-500.
[3] B.Skjellaug, H.Hämmäinen, H.Saathoff, "Enterprises and Distributed CIM : Inter-organizational Communication", *Computers in Industry 9*, 1990.
[4] F.B.Vernadat, "Future R&D Directions for CIM Deployment", *European Workshop on Integrated Manufacuring Systems Engineering*, Grenoble, France, dec 12-14, 1994, pp. 3-6.
[5] L.M.Camarinha-Matos, "Lecture Note, Special Session on Multiagent Systems in Manufacturing", *EURISCON'94, European Robotics and Intelligent Systems Conference*, Malaga, aug 22-26, 1994, Spain.
[6] J.Kallel, X.Bellet, Z.Binder, "Conduite décentralisée d'atelier", *AP2 RAIRO II*, 1995, pp.371-396.
[7] J.C.Bertrand, D.Brun-Picard, J.P.Kieffer, "Gestion et pilotage des systèmes industriels de production dans un contexte d'architecture décentralisée", *Second congrés international de Génie Industriel*, Nancy, France, dec 12-14, 1988, pp.153-162.
[8] DIMUN, "Information Bases and Interfaces", *RACE Project n° 1039*, Deliverade D3-1, 1990.
[9] "CIMOSA : Open System Architecture for CIM", *Research Reports ESPRITS, Projet 688/5288* - AMICE - Vol. 1, 2nd revised and extended edition, Springer-Verlag.
[10] "CIMOSA : Open System Architecture for CIM - technical base line", Cimosa Association (E.V.) version 3.0, oct 94.
[11] D.Shorter, "Interprise Models Execution in Integration Services - a Statement of Requirements and Evaluation from CEN TC 310WG1", *European Workshop on Integrated Manufacuring Systems Engineering*, Grenoble, France, dec 12-14, 1994, pp.37-40.
[12] N.M.Avouris, L.Gasser, *Distributed Artificial Intelligence : Theory and Praxis*, Kluwer Academic Publishers, 1992.
[13] N.R.Jennings, *Cooperation Industrial Multiagent Systems*, World Scientific Publishing Co., World Scientific Series in Computer Sciences, vol.43, 1994.
[14] M.L.Spinosa, E.Chouraqui, B.Espinasse, "Distributed CIM and DAI: for a Knowledge and Multiagent Approach", to appear in *1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics,* oct. 22-25, 1995, Vancouver , Canada.
[15] E.Chouraqui, C.Faucher, "Objlog+ : un langage de schémas étendu et extensible", *International Conference on Artificial Intelligence, Applications and Neural Networks*, IASTED, Zurich, june 25-27, 1990.
[16] S.Labidi, W.Lejouad, "De l'intelligence artificielle distribuée aux systèmes multi-agents", Rapport de recherche de l'INRIA N°2004, août 93.
[17] R.Gaches, B.Querenet, P.Viollet, F.B.Vernadat, "CIM-OSA: une architecture ouverte pour la productique", in CIM: Integration Aspects, Bordeaux, France, June 90, pp 227-234.
[18] M.S.Fox, "Knowledge Representation for Decision Support Systems", in *Knowledge Representation for Decision Support Systems,* edited by L.B.Methlie and R.M.Sprague, North Holland, 1985.
[19] L.M.Camarinha-Matos, A.L.Osòrio, "CIM-FACE: A Federated Architecture for Concurrent Engineering", Proceeding of *IFIP CAPE'95,* Beijing, China, May 95.
[20] B.Espinasse, "Contribution à l'ingénierie des systèmes d'information intelligents, distribués et coopératifs", Habilitation à Diriger des Recherches, DIAM-IUSPIM, Université d'Aix-Marseille III, mai 1995.
[21] M.S.Fox, "An Organizational View of Distributed Systems", *IEEE transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1981.
[22] T.W.Malone, S.A.Smith, "Modeling the performance of Organizational Structures", *Operational Research,* n°36, (1988), pp.421-436.
[23] M.D.Cohen, "Artificial Intelligence and the dynamic Performance of Organisationnal Designs", in *J.March and R.Weissinger-Baylon, Eds. Ambiguity and Command* , (Pitman, Marshfield, MA, 1986) .
[24] R.Davis, R.G.Smith, "Frameworks for Cooperation in Distributed Problem Solving", *IEEE transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1981.
[25] M.J.Shaw, M.S.Fox, "Distributed artificial intelligence for group decision support", in *Decision Support System,* N°9, North Holland, 1993, pp 349-367.
[26] M.J.Katz, J.S.Rosenschein, "Plans for Multiples Agents", in Distributed Artificial Intelligence Vol. II by L.Gasser & M.N.Huhns, Morgan Kaufmann Publishers, Inc, San Mateo, Calif., 1989.
[27] H.A.Bond, L.Gasser, "*Readings in Distributed Artificial Intelligence* ", Morgan Kaufman, 1988.

———————