



HAL
open science

Formalisation du centre de pilotage pour la simulation des systèmes industriels

Claire Berchet, Georges Habchi

► **To cite this version:**

Claire Berchet, Georges Habchi. Formalisation du centre de pilotage pour la simulation des systèmes industriels. 3e Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation “ Conception, Analyse et Gestion des Systèmes Industriels ” MOSIM’01, Apr 2001, Troyes, France. hal-01647886

HAL Id: hal-01647886

<https://hal.science/hal-01647886v1>

Submitted on 24 Nov 2017

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.

FORMALISATION DU CENTRE DE PILOTAGE POUR LA SIMULATION DES SYSTEMES INDUSTRIELS

Claire BERCHET, Georges HABCHI

LLP/CESALP – ESIA – Université de Savoie
41, avenue de la plaine - BP 806
74016 Annecy cedex, France
tel : 04.50.09.65.84
Mél: {Berchet ; Habchi}@esia.univ-savoie.fr

RESUME : *l'objectif de cet article concerne le développement et la formalisation de nouveaux concepts de pilotage de systèmes industriels en vue de les introduire dans une approche plus globale de modélisation pour la simulation des systèmes de production. Dans la première partie de l'article, nous rappelons les potentiels de la simulation dans le domaine des systèmes industriels à travers des applications réalisées ou qui pourraient l'être et ainsi nous dégagons les limites actuelles de la simulation, pour cerner la problématique de notre recherche. Ainsi pour répondre à certaines de ses lacunes, nous proposons dans une deuxième partie, d'introduire le processus de pilotage dans la simulation, grâce au concept de Centre de Pilotage (CP). Nous en donnons une définition et précisons l'organisation de ses composantes ainsi qu'une formalisation du CP lui-même, par la spécification détaillée de son comportement interne. Enfin, avant de conclure, nous proposons une typologie des messages d'avertissement circulant entre les CPs et formant la base des relations de coopération et de coordination de notre modèle.*

MOTS-CLES : *modélisation, simulation, centre de pilotage, information, systèmes de production.*

1. INTRODUCTION

Une synthèse de différentes définitions de la simulation est proposée dans (Bakalem 1996) : la simulation est une méthode de mesure et d'étude consistant à remplacer un phénomène ou un système à étudier par un modèle informatique plus simple mais ayant un comportement analogue. La simulation est un outil encore peu maîtrisé par les entreprises. Pourtant, nombreuses sont celles qui sont amenées à concevoir ou à faire évoluer des systèmes de production et doivent se poser des questions du type : comment être sûr que la gestion appliquée sur cette ligne de production est bien adaptée ? comment convaincre le responsable du budget qu'il devient indispensable d'investir dans telle ou telle machine, ou d'embaucher du personnel ? les paramètres de gestion choisis sont-ils les meilleurs ? etc. La simulation de flux est l'un des outils qui peut aider à répondre à ces questions et à bien d'autres encore.

Pour définir l'objectif de nos travaux qui couvrent à la fois les deux domaines de la simulation et du pilotage des systèmes industriels, il est indispensable d'analyser les potentiels de la simulation, les applications et études réalisées actuellement à l'aide de cette technique et ainsi dégager les lacunes et limites non couvertes encore par les approches et outils existants. Ainsi, une synthèse assez succincte sur les potentiels, les applications et les limites est présentée dans le cadre de cette introduction. Suite à cette introduction, nous développerons le concept du Centre de Pilotage (CP), pivot de notre approche, son comportement interne ainsi que les relations de

coopération et de coordination définissant les relations d'échange entre CPs et système à piloter.

1.1. Potentiels de la simulation

La simulation informatique est une technique puissante d'imitation des systèmes de production (Fishwick 1997). La reproduction des flux physiques à l'aide de la simulation est quasi parfaite. C'est également l'outil par excellence de suivi des flux informationnels associés aux flux physiques. Utilisée de façon adéquate, elle est d'une grande importance pour l'aide au pilotage industriel. Les potentiels de la simulation sont vastes et quasi illimités (figure 1). La simulation est par conséquent une aide appréciable dans différents domaines : l'analyse, la conception, la gestion, le pilotage, la décision, etc.

Tout d'abord, la simulation peut modéliser et couvrir tous les **flux de l'entreprise** : physiques, pour lesquels elle est le plus souvent utilisée, mais également informationnels et décisionnels.

D'autre part, elle peut représenter ces flux selon différents **niveaux de granularité**. Elle permet de décrire ainsi le système avec le degré de précision nécessaire à la résolution du problème posé. Cette représentation s'effectue donc selon différents niveaux hiérarchiques : stratégique, tactique et opérationnel.

Enfin, toutes les **phases du cycle de vie d'un système industriel** peuvent être étudiées à l'aide de la simulation : la **conception**, la **réalisation** (Chau and Bell 1994) et l'**exploitation**.

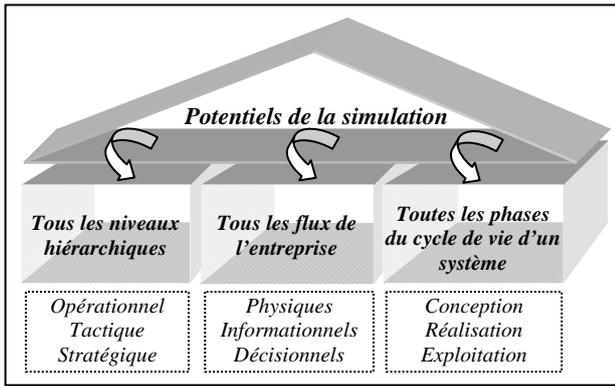


Figure 1. Potentiels de la simulation.

1.2. Utilisation de la simulation dans le domaine des systèmes industriels

Ainsi, les capacités de la simulation sont vastes... mais concrètement, quelles sont les applications et les études réalisées et pouvant l'être actuellement ? Les études réalisées à l'aide de la simulation, particulièrement dans le domaine des systèmes industriels, sont nombreuses (Gardiner and Blackstone 1993) (Wagner and Ragatz 1994) (Perona 1996) (Claver *et al.* 1997), etc. A ce propos, certains chercheurs comme M. Gregor et J. Kosturiak (Gregor and Kosturiak 1997) établissent une synthèse sur l'utilisation de la simulation dans ce domaine. Nous citons par exemple, des études sur les systèmes FMS (Flexible Manufacturing Systems), des comparatifs entre différentes alternatives de gestion, des tests sur certains paramètres de gestion, des études de stocks sur des lignes de production, etc... La figure 2 synthétise les principales potentialités et apports de la simulation dans le domaine des systèmes industriels.

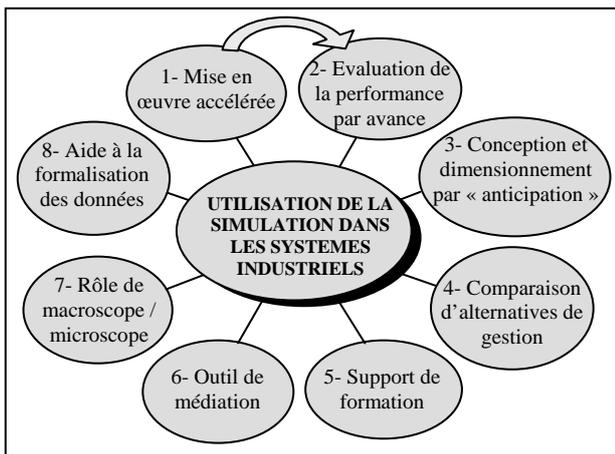


Figure 2. Utilisation de la simulation dans les systèmes industriels.

Cependant, concrètement aujourd'hui, toutes les possibilités de cette technique ne sont pas appliquées dans leur totalité. La simulation est ainsi limitée dans son utilisation et ses applications. Le paragraphe suivant présente une analyse des principales limites et lacunes de la simulation selon la réactivité.

1.3. Analyse des limites de la simulation selon la réactivité

Les faiblesses actuelles de la simulation résident d'une part dans la **complexité des concepts** utilisés dans la phase de modélisation et d'autre part dans l'**incapacité de ces concepts à modéliser des décisions** et par conséquent, à modéliser le système de pilotage associé à un système de production. De fait, il est quasi impossible à l'heure actuelle de modéliser le couple système de production / système de pilotage. Pourtant, pour qu'un modèle soit fiable et qu'une étude soit satisfaisante le système étudié doit être modélisé selon ses trois composantes : opérationnelle, informationnelle et décisionnelle.

Ceci s'explique par le fait que la prise de décision et son impact sur le système de production ne sont pas considérés dans le modèle et par conséquent ils ne sont pas pris en compte en cours de simulation. En effet dans ces conditions, la simulation est associée à un caractère « trop expérimental ». Même si pour certains outils la modification d'un paramètre est possible en cours de simulation, elle ne se fait pas selon une logique de pilotage. Cette logique implique une introduction structurée de boucles de rétroaction autour de chaque ressource à piloter. Actuellement, par manque de ces boucles dans le modèle de simulation, l'action du pilotage nécessite de nombreuses expériences pour arriver à une certaine optimisation du résultat. On peut parler ainsi d'utilisation « **passive** » et non réactive de la simulation.

D'autre part, la simulation utilise des concepts complexes pour l'utilisateur potentiel (responsable de production, chef de projet, responsable d'industrialisation, etc.). Ceci ne favorise forcément pas la « démocratisation » de cet outil, bien au contraire. De ce fait, les industriels font souvent appel à des spécialistes pour réaliser les modèles, et de fait, l'utilisation de la simulation dans le milieu industriel reste **ponctuelle** et limitée. Ainsi, afin d'user de toutes les potentialités de la simulation et de la rendre plus « **active** » et plus « **réactive** », notre objectif est l'introduction du concept générique de « **Centre de Pilotage** » (CP) dans une approche de modélisation pour la simulation, permettant ainsi de modéliser la boucle de rétroaction. D'autres travaux de recherche existent sur cette thématique (Mébarki et Castagna 1999). Kindler (Kindler 1999) introduit dans cette thématique la notion de « *reflective simulation* » ou encore de modèles « *interne et externe* » de simulation.

Avant de définir en détail le Centre de Pilotage (CP), il est important de savoir pour quelle structure et quel type de pilotage nous optons. Le pilotage choisi est de type « **interprété** » et positionné dans une **structure coordonnée et hiérarchisée** (Le Moigne 1974) (Trentesaux 1996). Il s'agit donc d'un pilotage basé sur une interprétation personnelle des acteurs, puisque

l'entreprise responsabilise l'individu (Bitton 1990) et chaque acteur a un pouvoir d'interprétation (Pellegrin 1997). En étendant le processus de pilotage à de nouveaux acteurs (donc de nouveaux CPs), on l'enrichit, tout en le complexifiant. L'interprétation propre de l'individu, inexploitée au niveau opérationnel dans le cadre d'une philosophie « *Taylorienne* », est aujourd'hui sollicitée dans un environnement où la gestion de l'événement implique des prises de décision en temps réel. De plus, l'acteur décideur doit exploiter, gérer et piloter son système en cohérence avec les autres acteurs, pour répondre aux objectifs fixés. Ce qui revient à dire que non seulement le processus décisionnel, reflet de l'organisation interne du CP, doit être pertinent, mais aussi que les liens entre ces différents CPs, doivent être cohérents, coordonnés et organisés.

2. LE CENTRE DE PILOTAGE (CP)

Certains concepts tels que la structure globale de pilotage, la structure locale de pilotage, une typologie de pilotage selon la réactivité, etc. ont été présentées dans d'autres publications. Pour plus d'information sur ces travaux, nous renvoyons le lecteur à la référence suivante (Berchet 2000). Ainsi, nous nous limitons dans cet article à la formalisation du Centre de Pilotage à travers : sa définition, la description de ses composantes, le développement de son comportement interne, et la description de ses relations avec son environnement.

D'abord, le Centre de Pilotage (CP) est défini comme étant :

« une **structure organisée** et **autonome**, mais dépendante de la stratégie de l'entreprise, ayant un **pouvoir décisionnel**, associée à une **entité à piloter** et disposant d'un ensemble de **ressources** nécessaires à la **mise en place d'actions** pour atteindre un ou plusieurs objectifs définis dans le cadre global de l'entreprise ».

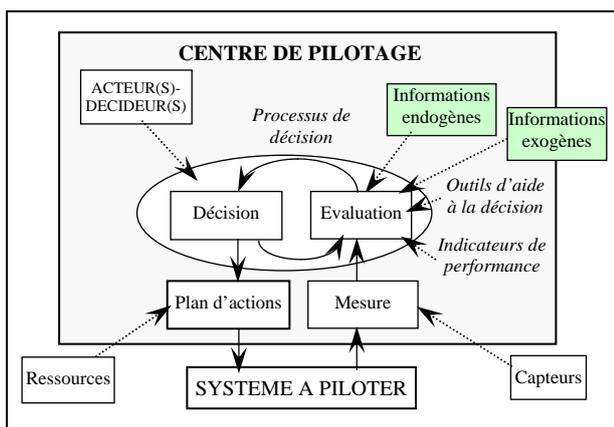


Figure 3. Structure interne du CP.

La figure 3 montre une structure interne et simplifiée de l'organisation des différentes composantes du CP autour du système à piloter.

2.1. Comportement interne détaillé du CP

Le travail de recherche de cet article s'oriente principalement vers la formalisation du comportement décisionnel qui décrit le processus interne du CP. La figure 4 approfondit le processus interne de pilotage schématisé par la figure 3 en reconsidérant les trois principales phases :

- la mesure événementielle ou périodique effectuée en « sortie » du système à piloter,
- le processus de décision comprenant l'évaluation et la prise de décision,
- l'application du plan d'action en « entrée » du système à piloter.

Après avoir obtenu la mesure (événementielle ou périodique) tirée de l'état du système à piloter et son flux associé, grâce aux indicateurs de processus et de résultat (Berchet *et al.* 1999a), notre objectif est de décrire le processus de décision du CP (Berchet *et al.* 1999b). Ce processus est divisé en trois étapes principales.

1. **L'évaluation de la performance** : cette étape consiste à analyser la mesure tirée du système à piloter, la comparer à l'objectif propre au CP et conclure à une dérive ou non-dérive du système.
2. **L'évaluation de l'inducteur** : en cas de dérive du système, la deuxième étape concerne la recherche de la cause responsable de cette dérive. Chacun des inducteurs ayant un indicateur et un objectif propre (seuil d'alerte par exemple) est évalué. Il s'agit d'interroger la liste préétablie de ces inducteurs et de déterminer quels sont ceux qui ont atteint leur propre seuil d'alerte. Ces derniers étant cernés, il faut dans l'étape suivante évaluer les actions correspondantes (liste préétablie d'actions généralement mises en place, également en fonction d'un historique).
3. **L'évaluation du plan d'action** ou la « simulation interne » : il s'agit de tester sur le système à piloter par simulation interne les actions déterminées dans l'étape précédente, puis d'évaluer leur performance. Cela dans le but de définir un plan d'action adéquat avant son application réelle. Si le seuil d'alerte est toujours atteint après évaluation du plan d'action, d'autres actions possibles sont testées à leur tour, jusqu'au retour à la situation initiale. Lorsque le seuil d'alerte n'est plus atteint, le plan d'action adapté est trouvé et peut être appliqué « réellement » sur le système à piloter.

Suite à cette première analyse des informations nécessaires aux relations d'échange entre les CPs, nous formalisons les **relations de coopération** et de **coordination** par des **messages d'avertissement** circulants entre CPs. Ces messages peuvent être verticaux ascendants, descendants, ou horizontaux. Ils

sont soit émis soit reçus par le CP concerné. La section suivante décrit les différents types de ces messages ainsi que leurs points d'émission et de réception par les CPs (Berchet and Habchi 2000). La figure 5 schématise ces différents points en relation avec le comportement interne du CP.

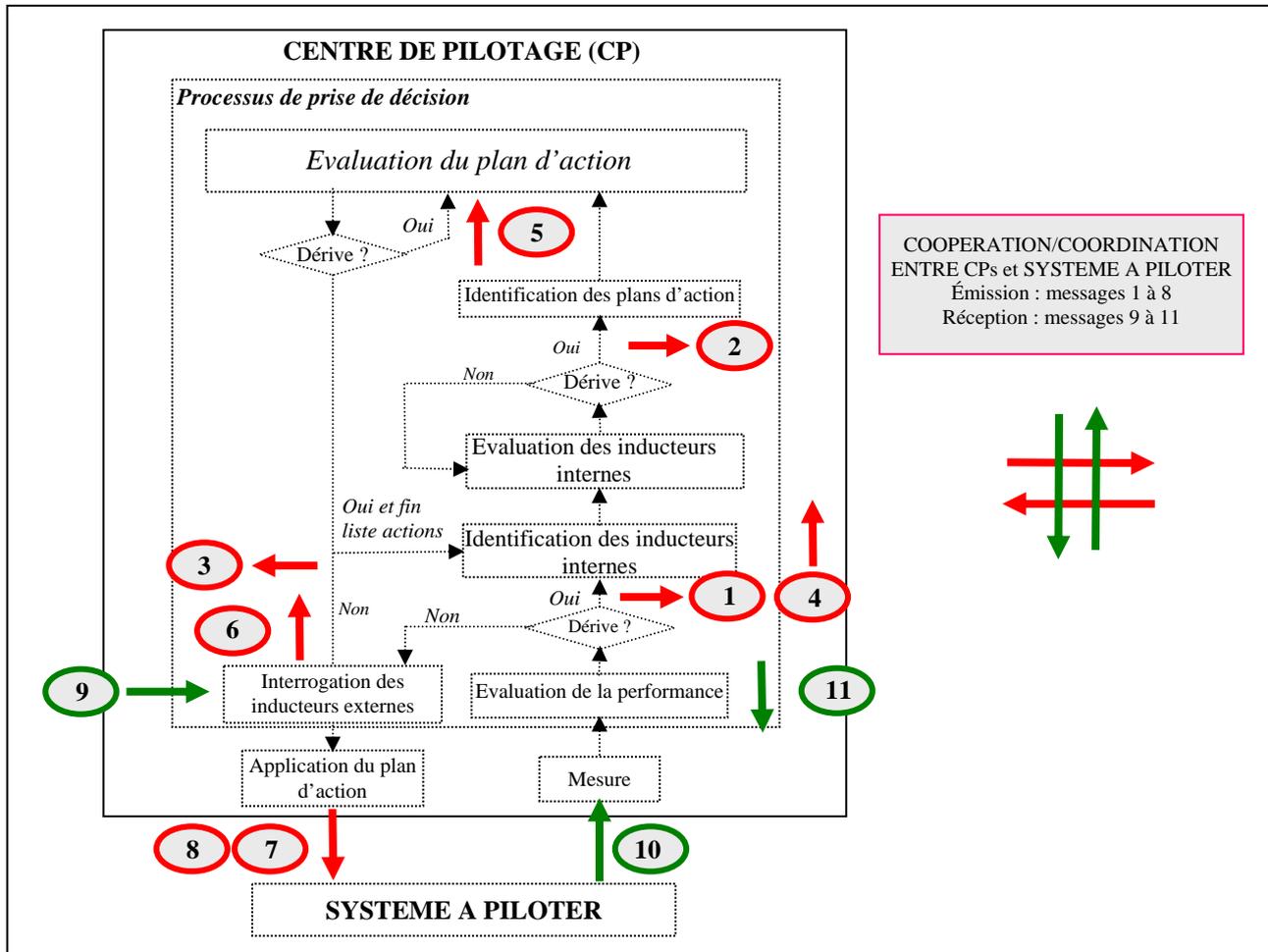


Figure 5. Emission et réception des messages d'avertissement entre CPs.

3.1. Émission de messages d'avertissement par les CPs

- **Émission de messages horizontaux**

① « mon objectif n'est pas atteint ».

En cas de dérive du système suite à l'évaluation de sa performance, le CP concerné avertit les CPs voisins de sa dérive, afin que ceux-ci prennent, le cas échéant, les dispositions nécessaires.

② « j'ai cerné les causes de ma dérive ».

Suite à sa dérive, le CP a recherché ses inducteurs, puis les a évalué et cerné les causes. Il avertit alors les CPs voisins de ces causes, afin qu'ils prennent à leur tour, le cas échéant, les dispositions nécessaires.

③ « J'ai trouvé l'action permettant de rétablir ma situation initiale ».

Le CP a trouvé parmi la liste d'actions possibles et suite à son évaluation, celle qui rétablissait la situation de non-dérive, donc le comportement attendu initialement. Il avertit les CPs voisins de cette action qui va être appliquée sur le système piloté. Pour l'application de l'action, il fournit les paramètres de l'action, son temps de réaction (TR) et le résultat attendu à la fin de ce TR.

- **Émission de messages verticaux ascendants**

④ « mon objectif n'est pas atteint ou mon objectif est atteint ».

Suite à une demande concernant l'état du système par rapport à l'objectif fixé, le CP fournit à son CP supérieur un résultat de dérive ou de non-dérive.

⑤ « J'ai testé toutes les actions possibles prévues, mais aucune ne rétablit la situation »

Le CP a évalué toutes les actions possibles des inducteurs ayant une dérive, mais aucune ne rétablit la situation. Il avertit son CP supérieur de cette conclusion, pour que ce dernier analyse l'ensemble des résultats de ses CPs et qu'il détermine l'origine du problème. Il se peut que certains objectifs nécessitent une modification (revoir les seuils limites des CPs voisins ou du CP en question).

⑥ « Mon objectif est rétabli »

Le CP a trouvé, parmi sa liste d'actions possibles, celle qui rétablissait la situation de non-dérive, donc le comportement attendu initialement. Il avertit son CP supérieur que son objectif va être atteint suite à cette action dans un délai égal au temps de réaction (TR) du système.

- **Emission de messages verticaux descendants**

⑦ « Je modifie certains paramètres de mon système à piloter - Je modifie l'objectif de mon CP »

Suite à l'application d'une action, le CP modifie certains paramètres sur son système à piloter (au niveau opérationnel). Par contre, s'il s'agit d'un CP de niveau supérieur, il modifiera l'objectif du CP piloté.

⑧ « Qu'elle est ta situation actuelle ? »

Le CP supérieur peut demander un compte-rendu de la situation d'un CP par rapport à son objectif, qui deviendra pour lui, une mesure à évaluer par rapport à ses propres objectifs.

3.2. Réception de messages d'avertissement par le CP

- **Réception de messages horizontaux**

⑨ « Y'a-t-il de messages de mes CPs voisins ? »

Suite à la réception de certains messages d'avertissement des CPs voisins du type : « mon objectif n'est pas atteint », « j'ai cerné les causes de ma dérive », « j'ai trouvé l'action rétablissant ma situation »... le CP concerné peut décider d'appliquer une action préventive sur son système, si ces messages peuvent avoir une influence sur le comportement du système à piloter.

- **Réception de messages verticaux ascendants**

⑩ « Y'a-t-il de messages de mes CPs inférieurs ? »

Suite à la réception de messages d'avertissements des CPs inférieurs du type : « mon objectif n'est pas atteint », « mon objectif est atteint », « j'ai testé toutes les actions possibles prévues mais aucune ne rétablit la situation », « mon objectif est rétabli », le CP supérieur évalue sa performance en fonction de ces nouvelles informations (d'état et de retour) et en fonction de son propre objectif.

- **Réception de messages verticaux descendants**

⑪ « Y'a-t-il de messages de mon CP supérieur ? »

Le CP doit prendre en compte les messages de ses CPs supérieurs de type :

- « je modifie l'objectif de mon CP » dans ce cas, il doit mettre à jour son objectif pour effectuer les prochaines évaluations en fonction de cette donnée,
- « qu'elle est ta situation actuelle ? » dans ce cas, il doit déclencher son évaluation et rendre compte de son état de dérive ou de non-dérive.

Il existe certaines formalisations (Camalot et Esquirol 1997) des interactions entre agents sous l'angle de la communication par envoi de messages. Cette approche, sur laquelle nous nous baserons dans notre modèle pour formaliser les interactions entre CPs, permet de donner à chaque envoi de message le statut d'un acte de langage répondant à un objectif et à un contexte donnés à partir desquels une certaine logique des conversations est bâtie. Ainsi, les agents s'échangent des messages répondant au même format. Ces messages contiennent les informations décrites ci-dessous :

- *Action* ; action souhaitée parmi la liste des actions possibles pré-établie par CP,
- *Émetteur* ou « CP source » ; CP qui envoie le message,
- *Récepteur* ou « CP cible » ; CP qui doit recevoir ce message,
- *Identificateur de message* ; identificateur affecté au message,
- *Date d'émission* ; date à laquelle ce message a été émis,
- *Date de péremption* ; date à laquelle ce message n'a plus lieu d'être ou n'est plus valide,
- *Contenu* ; le contenu de ce message (paramètre nécessitant une modification du système à piloter par exemple),
- *Objectif* ; événement dont le traitement est à l'origine des interactions.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La formalisation du concept de Centre de Pilotage (CP) permet d'introduire le pilotage des systèmes industriels dans la simulation, et ainsi de la rendre plus « active » et plus « réactive ». L'objectif est de pouvoir réagir sur le système, en cas de dérive, de manière structurée, en cours de simulation et ainsi d'élargir et de profiter davantage des potentiels de la simulation. Cette problématique s'inscrit dans le courant actuel de la recherche en simulation.

La formalisation des points d'émission et de réception des informations circulant entre les CPs et entre les CPs et le système à piloter, permet de prendre en compte les relations de coopération et de coordination dans le comportement interne du CP.

Cet article ne présente pas l'ensemble des travaux actuels de l'équipe. Il existe effectivement aujourd'hui une modélisation avec UML (Unified Modeling Language) du « réseau STP-CP » qui permet de modéliser un système industriel (système opérationnel et système de pilotage). Cette modélisation est basée sur les concepts de CP (abordé dans cet article), de STP (Système de Traitement du Produit, représentant les ressources matérielles du flux physique : machine, stock, atelier...), et d'Entité (représentant les produits du flux physique). L'introduction du pilotage dans un modèle de simulation se traduit ainsi par la liaison du système de pilotage (représenté par un réseau de CPs) au système physique (représenté par un réseau de STPs et d'Entités) à l'aide des relations de coopération et de coordination. Le réseau STP-CP étant modélisé, l'implémentation est en cours en JAVA, en vue d'obtenir la plate-forme Appolo.

REFERENCES

- Bakalem M., « *Modélisation et simulation orientées objet des systèmes manufacturiers* », Thèse de Doctorat en Electronique – Electrotechnique - Automatique, Université de Savoie, 1996.
- Berchet Claire, Habchi Georges et Courtois Alain, « *Pilotage et Prise de Décision Industrielle* », 3^{ème} Congrès International de Génie Industriel, vol. 3, pp. 1955-1964, Montréal, mai 1999a.
- Berchet C., Habchi G. et Courtois A., « *Intégration du processus de pilotage à la simulation des systèmes de production* ». 2^{ème} Congrès MOSIM'99 d'Annecy, 337-344, octobre 1999b.
- Berchet C. and Habchi G., « *Modeling for simulation of manufacturing system control* », EDA'2000, Orlando, Floride, 30-02 Août 2000.
- Berchet C., « *Modélisation pour la simulation d'un système d'aide au pilotage industriel* », Thèse de Doctorat de L'INP de Grenoble, Spécialité : Génie Industriel, Décembre 2000.
- Bitton M., « *Ecograi : Méthode de conception et d'implantation de systèmes de mesure de performances pour organisations industrielles* ». Thèse de Doctorat en Automatique, Université de Bordeaux1.
- Camalot J.P. et Esquirol P., « *Aide à la décision et à la négociation dans un problème de gestion de production distribuée* », 2^{ème} Congrès International Franco-Québécois de GI, Albi 1997.
- Chau P.Y.K. and Bell P.C., « *Decision-Support for the Design of a New Production Plant Using Visual Interactive Simulation* », Journal of the Operational Research Society, vol. 45, n° 11, pp. 1273-1284, 1994.
- Claver J.F., Gelinier J. et Pitt D., « *Gestion de flux en entreprise, modélisation et simulation* », Editions Hermès, 1997.
- Fishwick Paul A., « *Computer Simulation : Growth Through Extension* », Transactions of the Society for Computer Simulation International, n° 14, pp. 13-23, 1997.
- Gardiner S.C. and Blackstone J.H., « *The effects of lot sizing and dispatching on customer service in an MRP environment* », Journal of Operations Management, 11, 143-159. 1993.
- Gregor M. and Kosturiak J., « *Simulation : strategic technique for the Factory's future* », Revue Simulation, 291-305. 1997.
- Kindler E., « *Nested Simulation of Container Yards* », Simulation und Visualisierung'99, SCSi, Erlangen, 247-259. 1999.
- Habchi G. and Berchet C., « *Analysis of Decision Making and Industrial Control Process* », Proceedings of DSI'99, Athens, Greece, 4-7 july 1999.
- Le Moigne J.L., « *Les Systèmes de Décision dans les Organisations* », Presses Universitaires de France, 1974.
- Mébariki N. et Castagna P., « *Comparaison simultanée de plusieurs critères dans un environnement de simulation - optimisation stochastique* », MOSIM'99, pp. 243-262, 1999.
- Pellegrin C., « *Fondement de la décision de Maintenance* », Editions Economica, 1997.
- Perona M. « *The effects of safety stock and lot size in perturbed MRP environment, Advances in Production Management Systems* », N. Okino, H. Tamura and S. Fujii (Editors), 355-360. 1996.
- Trentesaux D., « *Conception d'un Système de Pilotage Distribué, Supervisé et Multicritère pour les Systèmes Automatisés de Production* », Thèse de Doctorat de l'INP de Grenoble, spécialité Automatique/ Productique, janvier 1996.
- Wagner B.J. and Ragatz G.L., « *The impact of lot splitting on due date performance* », Journal of Operations Management, n° 12, pp. 13-25, 1994.