



HAL
open science

MODELE GENERIQUE ORIENTE OBJET DU FLOW-SHOP HYBRIDE HIERARCHISE

Michel Gourgand, Nathalie Grangeon, Sylvie Norre

► **To cite this version:**

Michel Gourgand, Nathalie Grangeon, Sylvie Norre. MODELE GENERIQUE ORIENTE OBJET DU FLOW-SHOP HYBRIDE HIERARCHISE. MOSIM'01, Apr 2001, TROYES, France. hal-01954094

HAL Id: hal-01954094

<https://hal.science/hal-01954094v1>

Submitted on 13 Dec 2018

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.

MODELE GENERIQUE ORIENTE OBJET DU FLOW-SHOP HYBRIDE HIERARCHISE

Michel GOURGAND, Nathalie GRANGEON, Sylvie NORRE

Université Blaise Pascal - Clermont Ferrand II
Laboratoire d'Informatique, de Modélisation et d'Optimisation
LIMOS CNRS FRE 2239
F- 63177 Aubière Cedex

Mél : gourgand@isima.fr, grangeon@iris.univ-bpclermont.fr, norre@moniut.univ-bpclermont.fr

RÉSUMÉ : Nous proposons, dans cet article, une extension d'un modèle théorique : le flow-shop hybride hiérarchisé qui est une généralisation du flow-shop hybride. Le principe de l'extension est de remplacer certaines machines par des flow-shop ou des flow-shop hybrides. Ce modèle est générique et permet de représenter un grand nombre de systèmes. La résolution des problèmes sous-jacents (évaluation de critères de performance, optimisation, ...) nécessite en général l'élaboration d'un modèle de simulation. En utilisant une méthodologie de modélisation, nous proposons un modèle générique de connaissance orienté objet pour la modélisation et la simulation de la classe des systèmes flow-shop hybride hiérarchisé. Nous proposons également une spécification des règles de gestion à l'aide d'une approche multi-agents. Le modèle générique de connaissance a pour but l'élaboration d'une base de composants logiciels utilisables pour la construction de modèles d'évaluation des performances pour les systèmes de la classe.

MOTS CLÉS : Modèle Générique Orienté Objet, Modélisation, Approche Multi-Agents, Flow-shop Hybride Hiérarchisé.

1. INTRODUCTION

Le modèle du flow-shop hybride constitue un modèle théorique pour l'étude d'un grand nombre de systèmes de production : industrie du verre (Chevalier et al., 1996), (Paul, 1979); industrie métallurgique (Narasimhan and Panwalkar, 1984), (Narasimhan and Mangiameli, 1987); industrie du papier (Sherali et al., 1990); industrie chimique (Fortemps et al., 1996), (Riane, 1998); industrie textile (Aghezzaf et al., 1995), (Riane, 1998); industrie du bois (Riane, 1998); industrie aérospatiale (Li, 1997). Des études récentes dans le domaine de l'industrie manufacturière (Lacomme, 1998), (Quéré, 1998) montrent que ce modèle théorique peut être insuffisant pour appréhender le fonctionnement détaillé de certains systèmes.

Dans ce papier, nous proposons une extension d'un modèle théorique : le flow-shop hybride hiérarchisé (noté FSHH) qui est une généralisation du modèle du flow-shop hybride. Il est générique et permet de représenter un grand nombre de systèmes industriels. Il a été identifié et présenté dans (Quéré, 1998) pour la modélisation et l'optimisation de systèmes manufacturiers de la manière suivante : « chaque étage ou chaque machine peut être un flow-shop ou un flow-shop hybride ». Ce modèle est étudié également dans le cadre de fonderies de type sable (Lacomme, 1998). Modéliser un système sous la forme d'un FSHH permet de résoudre certains problèmes tout d'abord de manière locale ou de manière globale et d'avoir une vision plus fine du système étudié. Le concept que nous proposons

permet, par exemple, de modéliser une usine sous forme de flow-shop, puis une partie (atelier, ligne) sous forme de flow-shop ou de flow-shop hybride. L'usine est donc modélisée de manière fine par un FSHH. A chacun de ces modèles peut être associé un problème d'ordonnancement.

L'objectif de cet article est la construction d'un modèle générique de connaissance orienté objet pour la classe des systèmes FSHH qui permettra l'élaboration d'une base de composants logiciels pour la construction de modèles d'action de systèmes réels modélisés par les FSHH.

Dans une première partie, nous présentons le FSHH, les problèmes posés par ce modèle théorique ainsi que la démarche de modélisation que nous utilisons. Dans la seconde partie, nous présentons l'étape d'analyse de la classe des systèmes FSHH avec l'élaboration du modèle de connaissance générique orienté objet. Dans la troisième partie, nous proposons une structuration et une spécification globale du sous-système décisionnel à l'aide d'un modèle multi-agents.

2. PRESENTATION DU PROBLEME ET DEMARCHE DE MODELISATION

2.1. Le problème

Un FSHH (figure 1) est composé d'un ensemble de m étages en série. Un étage est constitué d'un ensemble de lignes en parallèle qui peuvent être des flow-shop (noté

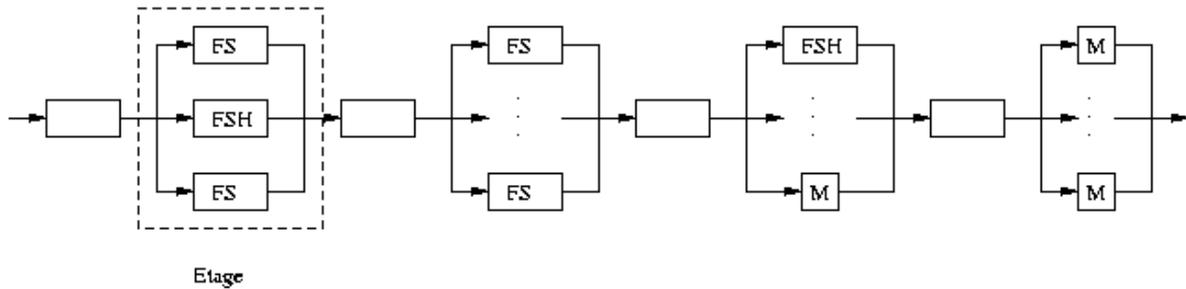


Figure 1. Un exemple de flow shop hybride hiérarchisé

FS) et/ou des flow-shop hybrides (noté FSH) et/ou des machines (notée M). Les étages peuvent être séparés par des stocks de capacité illimitée, limitée ou nulle. L'ordre de passage dans les étages pour chaque pièce est le même. Les pièces sont traitées dans chaque étage par une des lignes composant l'étage. Les lignes constituant un même étage ont les mêmes fonctionnalités mais pas forcément les mêmes caractéristiques (temps de traitement, nombre de machines, structure, ...).

L'étude de systèmes modélisés sous la forme de FSHH conduit à la résolution de problèmes :

- de dimensionnement : nombre de machines, de FS ou de FSH dans un étage, taille des stocks, ...,
- d'ordonnement : ordonnancement et affectation des pièces sur les différentes entités (FS, FSH, ...) composant le modèle,
- de prise en compte des événements aléatoires (pannes, temps de traitement aléatoires, ...) : recherche de solutions robustes aux événements aléatoires,
- de structuration du sous-système décisionnel : spécification des politiques de gestion des étages ou des entités composant le système.

La résolution de ces problèmes peut nécessiter le calcul ou l'évaluation de critères de performance (makespan, temps moyen de séjour, plus grand retard, ...). Lorsque les hypothèses sur le système le permettent (stocks de capacité illimitée, environnement déterministe, ...), les critères réguliers (basés sur les dates) peuvent être calculés par un modèle mathématique ou un simple algorithme par exemple pour le calcul du makespan dans un flow-shop avec stocks de capacité illimitée. Mais lorsque les contraintes deviennent plus fortes (stocks de capacité limitée, dates d'arrivée des pièces aléatoires, ...), il devient nécessaire de recourir à l'évaluation de critères de performances.

L'évaluation du ou des critères de performance entraîne souvent l'élaboration d'un modèle à réseaux de files d'attente, d'un modèle Markovien, d'un modèle de simulation ou d'un modèle réalisé à l'aide d'un langage de spécification tel que les réseaux de Petri. Les travaux de (Hunsucker et Shah, 1994), (Brah et Wheeler, 1998) et (Grangeon et al., 1998) sur le FSH utilisent la simulation pour l'évaluation de performance. A titre d'exemple, le

but de ces articles est la comparaison de règles de gestion des stocks en fonction de la structure du système (nombre d'étages et nombre de machines) et du nombre de pièces. Les travaux de (Gourgand et al., 2000a) utilisent un modèle markovien pour l'évaluation des performances dans un flow-shop avec des temps de traitement distribués selon des lois exponentielles.

En raison des hypothèses, de la taille des problèmes et du nombre d'états générés dans un FSHH, nous proposons d'utiliser la simulation à événements discrets. Nous nous situons dans un environnement déterministe ou stochastique suivant l'occurrence ou non d'événements aléatoires. La simulation fournit une aide pour la prise de décision lors de la conception de systèmes nouveaux ou l'analyse de systèmes existants. Le caractère générique du problème et le choix de concevoir un modèle de simulation pour l'évaluation des performances nécessitent l'utilisation d'une méthodologie de modélisation pour l'obtention du modèle générique du FSHH.

2.2. Démarche de modélisation

Nous utilisons dans notre étude les phases Analyse et Spécification de la méthodologie de modélisation ASCI (Gourgand et Kellert, 1991), (Goujon, 1997). Elle préconise la décomposition du système en trois sous-systèmes complémentaires communicants et disjoints deux à deux : le sous-système physique, le sous-système logique et le sous-système décisionnel.

- Le sous-système physique comprend les entités physiques qui composent le système étudié. Il permet de décrire la topologie des unités de production, de stockage, les caractéristiques techniques des moyens de production ainsi que les liens physiques et logiques entre ces moyens.
- Le sous-système logique est composé des gammes et nomenclatures des pièces que peut fabriquer le système étudié ainsi que des règles opératoires et des cycles. La gamme opératoire est constituée des opérations concernant les pièces en terme de moyen de production et de temps de traitement.
- Le sous-système décisionnel permet de spécifier l'ensemble des règles de fonctionnement du système. Il est formé d'un ensemble de règles de gestion qui agissent sur les sous-systèmes logique et physique.

Les phases d'Analyse et de Spécification ont pour objectif la construction d'un modèle générique de connaissance orienté objet pour la classe des systèmes FSHH. Nous proposons de suivre les cinq étapes préconisées par J.Y. Goujon (Goujon, 1997) :

- spécification du sous-système logique : description des gammes et nomenclatures,
- identification des entités du sous-système physique et de leurs liens : construction de la liste des entités composant le système, de leur hiérarchie et représentation des liens qui existent entre ces entités,
- définition des classes (attributs et méthodes) : construction de la liste des classes en utilisant une approche objet, à partir des entités du sous-système physique,
- structuration et validation du sous-système décisionnel.
- étude des interactions entre les trois sous-systèmes.

3. ANALYSE

3.1. Spécification du sous-système logique

Les pièces arrivent dans le premier étage et traversent les étages toujours dans le même ordre : étage 1, étage 2, ..., étage m. Dans chaque étage, une pièce doit être traitée par une seule des lignes composant l'étage. Une machine ne peut traiter qu'une seule pièce à la fois. La gamme opératoire d'une pièce donne les temps de traitement sur les machines.

3.2. Identification des entités du sous-système physique et de leurs liens

Un FSHH est constitué de stocks et de machines, regroupés en FS ou en FSH, eux-mêmes regroupés en

étages. Chaque étage i est composé de E_i lignes qui sont des machines et/ou des FS et/ou des FSH.

Concernant les stocks, nous considérons deux cas :

- le stock est situé en amont des lignes parallèles constituant l'étage (appelé stock de l'étage),
- le stock est situé en amont d'une machine (appelé stock de la machine).

3.3. Définition des classes

A partir de la liste des entités du sous-système physique, nous définissons un ensemble de classes et le diagramme des classes (figure 3). Le formalisme adopté est celui d'UML (Muller, 97).

3.4. Sous-système décisionnel

Le sous-système décisionnel est constitué de règles de gestion prédéfinies et de règles définies par l'utilisateur. Ces règles agissent sur l'ordonnement des pièces dans le système (à l'entrée et pour chaque étage) et sur leur affectation dans chaque étage.

Les règles de gestion prédéfinies sont des règles de gestion sur les stocks, telles que FIFO, SPT, LWR, EDD, ... D'autres règles peuvent être définies par l'utilisateur, en fonction des sous-systèmes physique et logique et de l'environnement (déterministe ou stochastique). Par exemple, une règle de réaction aux pannes permettra de déterminer un nouveau routage des pièces ou bien une règle d'ordonnement fournira un ordonnancement des pièces dans le stock en entrée en fonction de l'état du système.

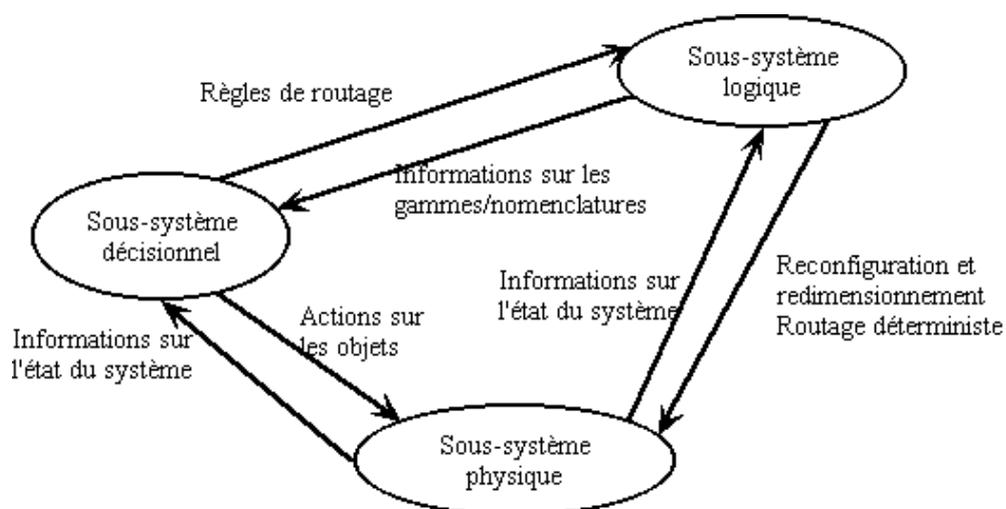


Figure 2. Interaction entre les trois sous-systèmes

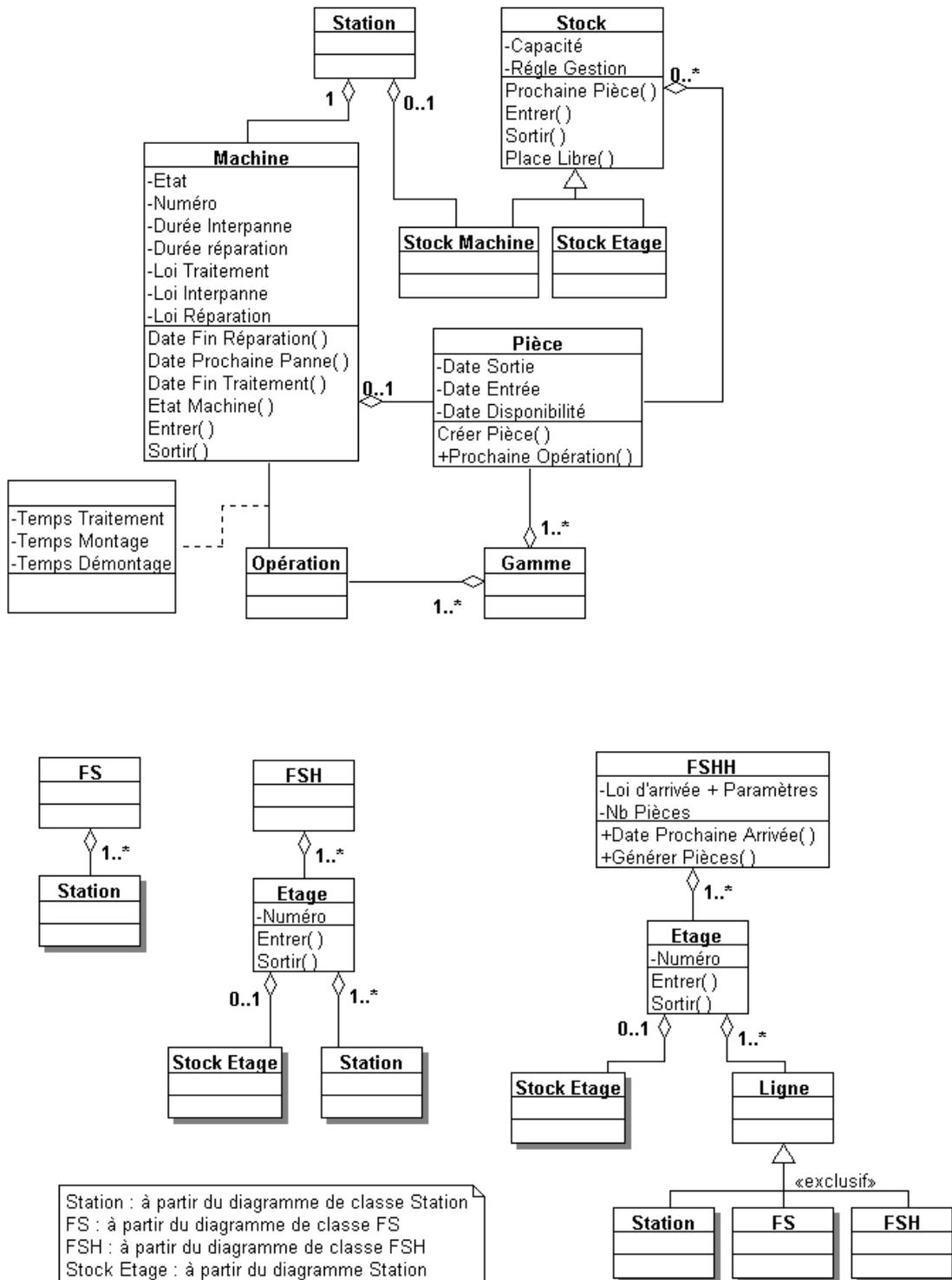


Figure 3. Diagramme des classes d'un flow-shop hybride hiérarchisé

3.5. Interactions entre les trois sous-systèmes

Les interactions entre les trois sous-systèmes sont présentées par la figure 2. En fonction des informations sur l'état du sous-système physique (état des machines et des stocks) et du sous-système logique (position des pièces, contraintes), le sous-système décisionnel a pour but de :

- modifier par ses décisions l'état du sous-système physique,
- déterminer l'affectation des pièces en fonction de leur besoin (choix de la pièce à traiter en priorité, choix de la machine, ...),
- gérer l'attribution et la restitution des ressources (machine ou stock).

Les interactions entre les sous-systèmes physique et logique sont les liens entre les entités des deux sous-systèmes (moyens de production et de stockage et éléments de flux : les pièces). Le sous-système physique peut demander au sous-système logique un routage déterministe de remplacement (en cas de panne d'une machine par exemple).

4. STRUCTURATION DU SOUS-SYSTEME DECISIONNEL

La phase d'Analyse nous a permis de construire un modèle objet UML générique pour la classe des FSHH. Pour compléter le modèle de connaissance, nous proposons de spécifier le sous-système décisionnel en utilisant un modèle multi-agents (Ferber, 95), (Goujon, 1997), (Lacomme, 1998), qui permet de modéliser des systèmes composés d'entités indépendantes pouvant évoluer au cours du temps et capables de réagir aux événements.

Cette spécification du sous-système décisionnel est réalisée suivant la démarche suivante :

- fixer l'objectif des agents et les placer dans le modèle,
- déterminer les algorithmes de résolution des agents.

4.1. Placement des agents

La topologie du système multi-agents doit être cohérente avec la topologie du sous-système physique. Cette étape consiste à placer les agents dans le modèle et à spécifier les tableaux noirs auxquels ils ont accès. Pour cela, il faut considérer qu'à chaque entité physique est rattaché un agent, définir l'objectif de chaque agent et donner la topologie des communications entre les agents du modèle. Si un agent n'a pas d'objectif, il peut être supprimé. Les entités du sous-système physique qui ne possèdent pas d'agent déposent directement les données nécessaires au bon fonctionnement du système dans les tableaux noirs auxquels elles sont rattachées.

La figure 4 décrit le placement des agents dans un FSHH. Nous proposons une structuration multi-agents

qui repose sur l'architecture que nous avons construite pour la classe FSHH.

4.2. Le comportement des agents

Dans un FSHH, nous distinguons trois types d'objectif :

- Ordonnancement : déterminer l'ordre de traitement des pièces
- Affectation : déterminer à quelle ligne d'un étage (FSH ou FS ou machine) affecter les pièces.
- Autorisation de libération d'une machine : lorsque les stocks sont de capacité limitée ou nulle, déterminer si une pièce peut quitter une machine. Les règles appliquées au niveau de l'entité physique sont des règles de passage qui conduisent à retenir une pièce jusqu'à ce que l'entité suivante soit libre (place dans le stock suivant ou machine suivante libre).

Le tableau 1 donne la liste des agents avec leurs objectifs et la liste des événements déclenchant leurs algorithmes de résolution qui peuvent par exemple être spécifiés par des réseaux de Petri (Barnichon, 1990).

Les algorithmes de résolution des agents pour les problèmes d'ordonnancement et/ou d'affectation peuvent être :

- des règles de gestion du type FIFO, SPT, .. Ces règles permettent de déterminer l'ordre de traitement des pièces sur les machines. La détermination de l'ordre de traitement sous-entend une affectation des pièces aux entités de l'étage : lorsque la première machine d'une entité de l'étage est libre, elle traite une des pièces du stock choisie selon une règle de gestion.
- des algorithmes optimaux :
 - algorithme de Johnson (Johnson, 1954) pour le FS à deux machines déterministe,
 - algorithme de Talwar (Talwar, 1967) pour le FS à deux machines avec des temps de traitement exponentiels,
 - algorithme de Prasad (Prasad, 1981) pour le FS à deux machines avec des temps de traitement géométriques,
- des heuristiques :
 - heuristiques (Campbell et al., 1970), (Dannenbring, 1977), (Ho et Chang, 1991) pour le FS à $m \geq 2$ machines,
 - heuristiques (Gupta et Tunc, 1991), (Gupta et Tunc, 1994) pour le FSH à 2 étages,
 - heuristiques pour le FS adaptées au FSH (Riane, 1998),
 - heuristiques pour le FS stochastique (Gourgand et al. 2000c).
- des métaheuristiques :
 - tabou pour le FSH déterministe (Nowicki et Smutnicki, 1998),
 - recuit simulé pour le FSH déterministe (Gourgand et al., 2000b) ou pour le FS stochastique (Gourgand et al., 2000a).

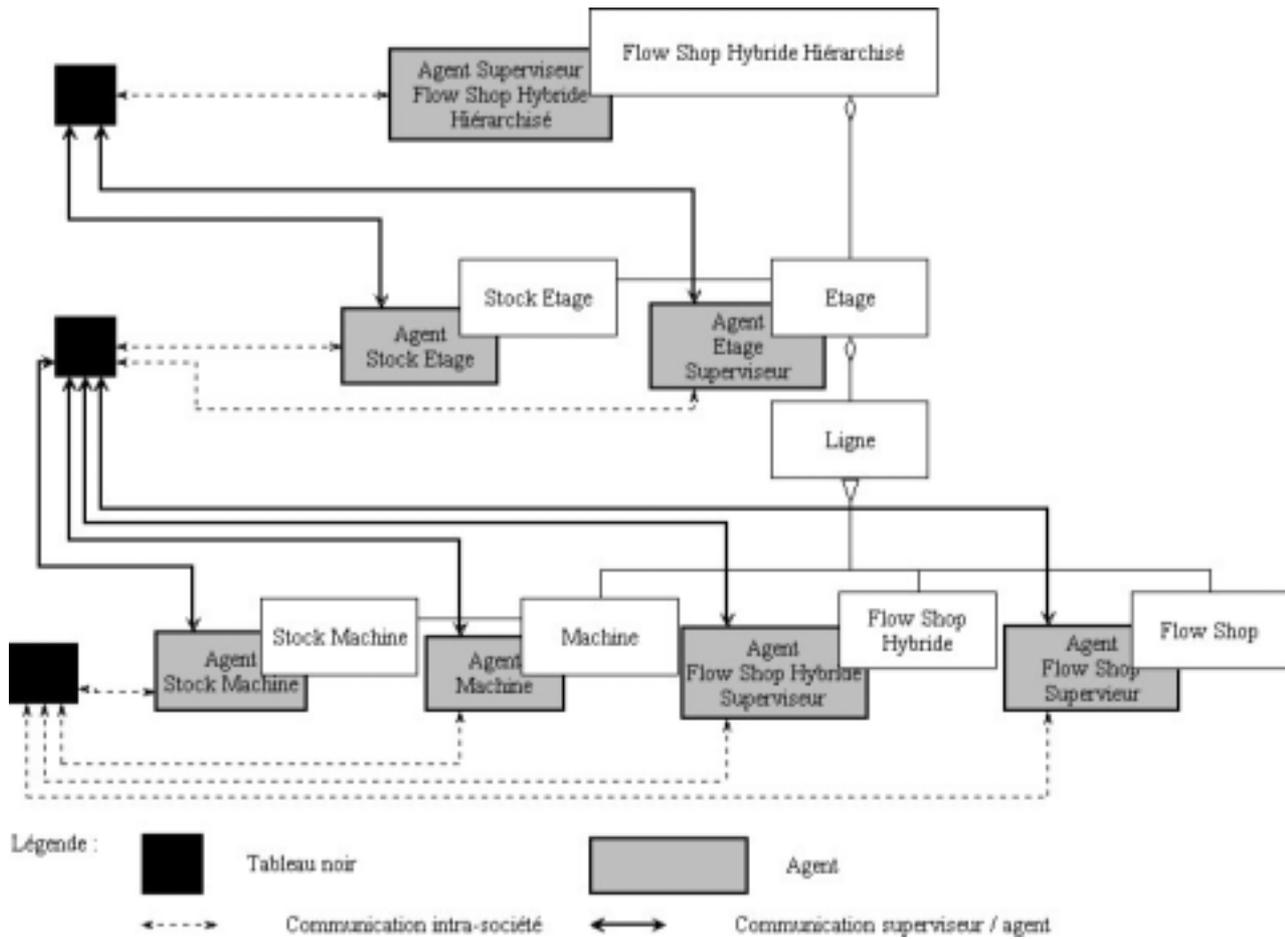


Figure 4. Placement des agents

Agent	Objectif	Evénements déclenchants
Agent Machine	Autorisation de libération de la machine	Fin de traitement de la pièce
Agent Stock Machine	Ordonnancement	Libération de la machine Panne de la machine Arrivée de(s) pièce(s)
Agent Flow Shop Superviseur	Ordonnancement	Fin de traitement d'une pièce Arrivée de(s) pièce(s) Panne d'une machine
Agent Stock Etage	Ordonnancement et/ou Affectation	Arrivée de(s) pièce(s) Panne d'une machine Libération d'une machine de l'étage
Agent Etage Superviseur	Ordonnancement et/ou Affectation	Fin de traitement d'une pièce Arrivée de(s) pièce(s) dans l'étage
Agent Flow Shop Hybride Superviseur	Ordonnancement et/ou Affectation	Fin de traitement d'une pièce Arrivée de(s) pièce(s)
Agent Flow Shop Hybride Hiérarchisé Superviseur	Ordonnancement et/ou Affectation	Fin de traitement d'une pièce Arrivée de(s) pièce(s)

Tableau 1 - Les agents, leurs objectifs et les événements déclenchants

5. CONCLUSION

Nous avons proposé une extension du modèle du flow-shop hybride : le flow-shop hybride hiérarchisé. Les étapes d'analyse et de spécification de la méthodologie ASCI nous ont permis de construire un modèle générique orienté objet pour la modélisation et la simulation de la classe des systèmes FSHH et une structuration du sous-système décisionnel à l'aide d'un modèle multi-agents. Les étapes de conception et d'implémentation permettront l'élaboration d'une base de composants logiciels utilisables pour la construction de modèles d'action de systèmes de la classe.

Les perspectives de cet article concernent la vérification, la validation et l'optimisation des flow-shop hybrides hiérarchisés. Ce dernier objectif est basé sur le couplage entre la simulation, des algorithmes stochastiques et un modèle multi-agents : le couplage-triple (Fleury et al., 1997), (Lacomme, 1998). Le couplage-triple met en œuvre un module d'optimisation, un module d'évaluation permettant d'évaluer en autres le critère à minimiser et un module spécifiant le fonctionnement interne du système. Chaque module peut être séparément ou conjointement utilisé avec d'autres, en fonction du problème à résoudre.

REFERENCES

- Aghezzaf E.H., A. Artiba, O. Moursli, and C. Tahon. Hybrid flowshop problems, a decomposition based heuristic approach. *Proceedings of International Conference on Industrial Engineering and Production Management (IEPM'95), Marrakech, FUCAM/IFIP/INRIA*, p.43 - 56, 1995.
- Barnichon D. *Modélisation et simulation de systèmes de production : problèmes de spécification et d'ordonnancement*. Doctorat d'informatique, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II, 1990.
- Brah S.A. and G.E. Wheeler. Comparison of scheduling rules in a flow-shop with multiple processors : a simulation. *Simulation*, 71(5):302-311, 1998.
- Campbell H.G., R.A. Dudek, and M.L. Smith. A heuristic algorithm for the n job, m machine sequencing problem. *Management Science*, 16(10):B630 - B637, 1970.
- Chevalier G., J. Barrier, and P. Richard. Production planning in the glass industry. *Revue VERRE*, 2(5):27-29, 1996.
- Dannenbring D.G. An evaluation of flow-shop scheduling heuristics. *Management Science*, 23(11):1174 - 1182, 1977.
- Ferber J. *Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective*. InterEdition, 1995.
- Fleury G., G.Y. Goujon, M. Gourgand, and P. Lacomme. Une contribution à l'optimisation des systèmes de production à flux discrets : le couplage triple. *RAIRO-JESA-APII*, 31(9-10):1411 - 1445, 1997.
- Fortemps P., C. Ost, M. Pirlot, J. Teghem and D. Tuytens. Using metaheuristics for solving a production scheduling problem in a chemical firm. *International Journal of Production Economics*, 46 - 47(1 - 3):13 - 26, 1996.
- Goujon J.Y. *Un environnement de modélisation multi-agents pour la spécification et l'évaluation des performances des systèmes industriels de production*. Doctorat d'informatique, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II, 1997.
- Gourgand M., N. Grangeon and S. Norre. Performance evaluation and sequencing in stochastic flow-shops. *7th International Workshop on Project Management and Scheduling (PMS2000)*, Osnabrück, Germany, 17-19 avril, p.142-144, 2000.
- Gourgand M., N. Grangeon and S. Norre. Metaheuristics for the deterministic hybrid flow-shop problem. *RAIRO-JESA-APII*, 34(9):1107-1135, 2000.
- Gourgand M., N. Grangeon and S. Norre. A contribution to the stochastic flow shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, (soumis)
- Gourgand M. and P. Kellert. Conception d'un environnement de modélisation de systèmes de production. *Actes du 3ème congrès international de Génie industriel*, Tours, 20-22 mars, 1991.
- Grangeon N., A. Tanguy, and N. Tchernev. Generic simulation model for the hybrid flow-shop. *24 th International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE 24)*, Septembre 1998.
- Gupta J.N.D. and E.A Tunc. Schedules for a two stage hybrid flow-shop with parallel machines at the second stage. *International Journal of Production Research*, 29(7):1489 - 1502, 1991.
- Gupta J.N.D and E.A Tunc. Scheduling a two-stage hybrid flowshop with separable setup and removal times. *European Journal of Operational Research*, 77:415 - 428, 1994.
- Ho J.C. and Y.L. Chang. A new heuristic for the n-job, m-machine flow-shop problem. *European Journal of Operational Research*, 52:194 - 202, 1991.
- Hunsucker J.L. and J.R. Shah. Comparative performance analysis of priority rules in a constrained flow-shop with multiple processors environment. *European Journal of Operational Research*, 72:102 - 114, 1994.
- Johnson S.M. Optimal two and three stage production schedules with setup times included. *Naval Research Logistics Quartely*, 1:61 - 68, 1954.
- Lacomme P. *Optimisation des systèmes de production : méthodes stochastiques et approche multi-agents*. Doctorat d'informatique, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II, 1998.
- Li S. A hybrid two stage flow-shop with part family, bath production, major and minor set ups. *European Journal of Operational Research*, 102:142-156, 1997.
- Muller P.A. *Modélisation objet avec UML*. Editions Eyrolles, 1997.

- Narasimhan S.L. and P.M. Mangiameli. A comparison of sequencing rules for two stage hybrid flow-shop. *Decision Sciences*, 18:250 - 265, 1987.
- Narasimhan S.L. and S.S. Panwalkar. Scheduling in a two stage manufacturing process. *International Journal of Production Research*, 22(4):555 - 564, 1984.
- Nowicki E. and C. Smutnicki. The flow-shop with parallel machines : a tabu search approach. *European Journal of Operational Research*, 106:226-253, 1998.
- Paul R.J. A production scheduling problem in the glass container industry. *Operation Research*, 27(2):290 - 302, 1979.
- Prasad V.R. nx2 flow-shop sequencing problem with random processing times. *Operation Research*, 18:1 - 14, 1981.
- Quéré A. *Gestion et optimisation des flux matières dans les systèmes de production de type flow-shop hybride*. Doctorat d'informatique, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II, 1998.
- Riane F. *Scheduling hybrid flow-shop : Algorithms and Applications*. Phd thesis, Facultés Universitaires Catholiques de Mons, 1998.
- Sherali H.D., S.C. Sarin, and M.S. Kodialam. Models and algorithm for a a two stage production process. *Production Planning and Control*, 1(1):27 - 39, 1990.
- Talwar T.T. A note on sequencing problems with uncertain job times. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 9:93 - 97, 1967.