



**HAL**  
open science

# HPACS: une approche égalitaire supervisée et interactive pour le pilotage adaptatif d'un système de production

Damien Trentesaux, Christian Tahon

► **To cite this version:**

Damien Trentesaux, Christian Tahon. HPACS: une approche égalitaire supervisée et interactive pour le pilotage adaptatif d'un système de production. Journées Ordonnancement Coopératif, 1996, Bordeaux, France. hal-03225809

**HAL Id: hal-03225809**

**<https://uphf.hal.science/hal-03225809v1>**

Submitted on 13 May 2021

**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.

---

# HPACS: une approche égalitaire supervisée et interactive pour le pilotage adaptatif d'un système de production

Damien Trentesaux<sup>1,2</sup>, Christian Tahon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'Automatique et de Mécaniques Industrielles et Humaines

Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis

Le Mont Houy, BP 311

59304 Valenciennes cedex

Tel:(33).27.14.13.54.

fax:(33).27.14.12.88.

e-mail: chip@univ-valenciennes.fr

<sup>2</sup>Laboratoire d'Automatique de Grenoble

E.N.S.I.E.G., BP 46

38402 Saint Martin d'hères cedex

---

*RESUME: Nous proposons dans cet article une structure de pilotage égalitaire et supervisée visant à réaliser interactivement un plan global de production en tenant compte d'opérations qui peuvent être planifiées ou non. Le superviseur a la possibilité de détecter dynamiquement puis d'ordonnancer une ressource goulot (nous définissons un niveau de charge potentielle). De cette manière un ordonnancement prévisionnel est calculé pour une seule ressource (il peut par ailleurs être remis en cause). De ce fait, la structure proposée peut intégrer la notion d'objectif global (contrairement à une approche de structuration totalement distribuée) et la notion d'allocation dynamique et distribuée de tâche. Nous avons spécifié un Système Interactif d'Aide Multicritère à la Décision (SIAMD) distribué dont l'objectif est de permettre un meilleur niveau d'adaptativité en intégrant l'opérateur humain dans le processus décisionnel. Nous avons établi une typologie de décisions concernant la gestion du processus de fabrication au niveau superviseur (détection et ordonnancement de la ressource goulot, etc.) et au niveau égalitaire (allocation de tâche temps-réel, gestion des files d'attente locales, etc.). De nombreux essais ont montré l'intérêt de la structure hybride, notamment en terme de compromis entre le respect des objectifs globaux et le besoin d'adaptativité.*

*ABSTRACT: this article aims at proposing an egalitarian and supervised production activity control structure to manage interactively production objectives taking into account scheduled and non-scheduled operations. The supervisor detects and schedules dynamically a bottleneck resource (we define real time workload). Thus, a planned scheduling is estimated for only one resource. However, this scheduling can easily be re-calculated. The concept of global objectives can be supported in an easier way by the proposed structure than a fully distributed one as the notion of dynamic and distributed task allocation does. We focused on the need of defining a Multicriteria Decision Support System (MDSS) which aim is to allow a better level of auto-adaptability by integrating the human operator in the decision making. We have established a decision typology regarding both supervisor (bottleneck management and so on) and egalitarian (dynamic task allocation and so on) levels of decision making. Several studies have shown the advantages of the egalitarian and supervised production activity control structure in term of ntegration of global objectives and need of adaptability.*

*Mots clés: Système de production, pilotage, résolution distribuée de problème, méthode multicritère, système interactif d'aide à la décision, ordonnancement coopératif, allocation dynamique de tâches.*

*Key words: production system, production activity control, distributed problem solving, multicriteria approach, decision support system, interactive scheduling, dynamic task allocation.*

---

## Introduction

Les méthodes actuelles de régulation temps-réel d'un système de production ne proposent pas d'outils suffisamment efficaces pour le pilotage de systèmes de production. L'origine de ce problème se situe au

niveau même des structures de pilotage existantes. En effet, elles se basent pour la plupart sur le concept de centralisation des flux de données au sein d'une unique ressource. L'avantage de cette approche réside dans la potentialité d'optimisation (selon un critère pré-défini tel que le niveau de retard moyen, le niveau de stock moyen, etc.). L'inconvénient principal est la faible adaptabilité d'une telle structure qui intègre difficilement la tolérance aux pannes (réactivité) et les besoins en flexibilité en raison de l'élaboration d'un ordonnancement prévisionnel très contraint.

D'un autre côté, nous constatons que le besoin d'adaptabilité des structures de production est constamment accru, et ce, à cause de:

- la diminution des temps de vie produit,
- la concurrence.

Ainsi, l'efficacité d'un système de production est décrit de plus en plus en terme de temps de cycle, respect des délais, niveau de stock, flexibilité, réactivité, etc. Nous avons montré que les méthodes actuelles de pilotage ne répondent que peu au besoin de flexibilité et de réactivité [Trentesaux 96]. Nous montrons en premier lieu qu'un pilotage s'appuyant sur une approche à ordonnancement prévisionnel partiel apporte un compromis qui permet de prendre compte simultanément de la dynamique du processus de production, de la globalité des objectifs et des besoins d'anticipation. Nous discutons ensuite de l'intérêt de l'intégration de l'opérateur humain dans les processus de décision, ce qui nous amène à proposer un SIAMD. Après avoir donné quelques exemples pratiques, nous terminons cet article en décrivant les perspectives de développement du concept générique de SIAMD distribué.

## **1. Pilotage**

### ***1.1. Gestion prévisionnelle et temps-réel***

La gestion d'un SAP comporte deux niveaux:

la gestion prévisionnelle (niveau 1): elle assure l'anticipation et la programmation d'un ensemble d'actions ou de décisions. Les fonctions concernées sont celles de planification, programmation et ordonnancement (si ce dernier existe). Ce niveau est nécessaire afin de pallier à l'inertie du système de production (délais de production, d'approvisionnement, etc.).

la gestion temps réel (niveau 2): elle élabore les décisions et les actions qui sont réalisées en temps-réel et qui sont donc déclenchées par un ensemble d'événements liés à l'état courant du système de production.

### ***1.2. Pilotage***

La fonction pilotage temps réel est associé au niveau 2.

Le pilotage doit établir constamment un compromis entre les ordres issus de la gestion prévisionnelle et les actions réellement effectuées au niveau du système de production. La problématique principale du pilotage est donc d'assurer la cohérence des décisions avec:

- les contraintes imposées par la gestion prévisionnelle en terme de décisions ou d'objectifs,
- les contraintes imposées par le système physique (perturbation, retard, etc.).

Nous définissons une typologie des différentes méthodes en fonction de l'approche selon laquelle elles réalisent l'allocation des tâches avec ou sans ordonnancement pré-établi. Trois catégories de pilotage sont définies en fonction de la présence ou non d'un ordonnancement prévisionnel qui porte sur un ensemble de tâches (opérations):

les méthodes de pilotage à ordonnancement prévisionnel total, Dans ce cas, l'ordonnancement de toutes les opérations est défini au niveau prévisionnel. Par définition, une opération, appartenant au sous-ensemble des opérations à réaliser, à laquelle est associée une ressource, une date de début et une date de fin de fabrication est une opération planifiée.

les méthodes de pilotage sans ordonnancement prévisionnel, Le niveau prévisionnel n'élabore aucun ordonnancement. La gestion des allocations et des files d'attente se fait dynamiquement au fur et à

mesure de l'évolution événementielle du système de production. La fonction ordonnancement est absente du niveau 1.

les méthodes de pilotage à ordonnancement prévisionnel partiel. Un ordonnancement prévisionnel est dit partiel si le sous-ensemble des opérations planifiées est inclus (inclusion stricte) dans l'ensemble des opérations à réaliser. Les approches de pilotage à ordonnancement prévisionnel partiel se différencient selon:

- le choix de ce sous-ensemble,
- les méthodes d'ordonnancement partiel.

Le sous-ensemble complémentaire est donc composé des opérations non planifiées dont l'allocation est réalisée dynamiquement.

L'ensemble des tâches opératoires planifiées peut-être établi sur la base de critères de sélection. L'objectif est d'extraire un sous-ensemble de tâches qui présente des caractéristiques communes. Les critères de sélection sont regroupés en quatre catégories: critères de sélection portant sur les flux, la dimension temporelle (délai, horizon, etc.), les produits et les ressources. Chacun de ces critères permet d'établir la liste des tâches à planifier.

Les structures égalitaires supervisées proposent de nombreux avantages qui exploitent:

- les caractéristiques de globalisation (en terme d'optimisation ou d'objectif) qui sont celles des approches hiérarchiques,
- les caractéristiques associées aux processus d'allocation dynamique des structures égalitaires.

La création d'un ordonnancement prévisionnel partiel apporte les avantages suivants:

- elle limite la restriction de la capacité de réaction due à l'action de planifier l'ensemble des opérations à réaliser,
- elle décrit un ensemble de guides (contraintes) favorisant le respect d'un ou des objectif(s) global(aux) et présente une meilleure viabilité industrielle.

Nous proposons une structure de pilotage fondée sur une approche de pilotage à ordonnancement prévisionnel partiel qui cherche le meilleur compromis entre les structures hiérarchiques et égalitaires d'une part, et les approches avec ordonnancement total ou sans ordonnancement d'autre part. La structure de pilotage est de type égalitaire supervisée (figure 1).

▪

Figure 1. Structure égalitaire supervisée

## 2. Structure égalitaire supervisée à ordonnancement partiel

Nous décomposons la structure de pilotage en deux niveaux égalitaire et superviseur. Le niveau égalitaire est composé d'un ensemble d'agents coopératifs (nommés station intégrées de pilotage) qui sont composés de cinq sous-système de décision, d'information de communication, d'interface et d'information. Nous discernons deux types de coopérations (figure 2):

- “verticale” entre l'opérateur et l'agent. L'opérateur humain est responsable des décisions locales,
- “horizontale” qui décrit l'interaction entre agents.

Chaque SIP est responsable d'un ensemble de ressources de production.

▪

Figure 2. structure égalitaire supervisée et types de coopération

Le niveau superviseur correspond à la SIP assurant la supervision des SIP du niveau égalitaire. Cette SIP est elle aussi associée à un opérateur. Elle peut également contrôler directement un ensemble de ressources et participer ainsi au processus de production.

Le rôle du superviseur est principalement de détecter dynamiquement la ressource goulot en fonction des charges de production. Les données prises en compte pour réaliser l'ordonnancement du goulot sont issues de l'état courant et de la charge réelle du système de production.

La détection et l'ordonnement d'une ressource goulot constituent une démarche événementielle déclenchée par exemple par l'apparition de nouveaux ordres de fabrication.

De cette manière, le sous-ensemble des opérations planifiées correspond aux opérations qui doivent être réalisées sur la ressource goulot durant la période considérée.

La charge potentielle maximale est définie pour un ensemble de tâches à effectuer et qui ne sont pas commencées à une date donnée. Le superviseur évalue en premier lieu les tâches qui peuvent être réalisées par chaque ressource en fonction des ordres de fabrication et des gammes opératoires. Il évalue ainsi le temps nécessaire à chaque ressource pour réaliser l'ensemble des tâches qui peuvent lui être allouées. Les différents temps caractéristiques du processus de fabrication sont pris en compte (temps opératoires, temps de préparation, temps de changement outil, temps de réglage, etc.). C'est en ce sens que la charge est maximale. Elle est potentielle dans le sens où une opération qui peut être réalisée sous le contrôle d'une SIP ne sera pas nécessairement effectuée sous le contrôle de cette SIP.

Le résultat correspond donc au temps maximum que pourrait passer une ressource sur un ensemble de tâches encore non réalisées. Si une opération est en cours sous le contrôle d'une SIP particulière, alors les temps opératoires ne sont pris en compte que pour cette SIP.

La ressource la plus contraignante a priori est la ressource qui présente la charge potentielle maximale. Cette ressource constitue la ressource goulot jusqu'au prochain événement qui provoquera la réévaluation des charges et l'identification de la ressource goulot.

Les tâches non planifiées sont allouées dynamiquement au cours du processus de fabrication selon un protocole décrit dans la partie structure de communication.

### **3. Processus décisionnel**

#### ***3.1. Décomposition selon Simon***

De manière générale, un processus de décision consiste à restreindre un ensemble de possibilités à un sous-ensemble strict et à évaluer cette restriction. Simon [Simon 77] détaille ce processus en quatre étapes, non nécessairement séquentielles, cf. figure 3.

▪

Figure 3. processus de décision selon [Simon 77]

information: cette étape, avec la suivante, conditionne fortement la qualité de la prise de décision. En effet, elle détermine l'ensemble des données nécessaires (mais pas forcément suffisantes) qui seront utilisées lors des phases suivantes,

conception: cette phase génère les différentes alternatives qui forment l'ensemble des possibilités. Les différentes solutions sont donc élaborées à ce stade,

choix: cette phase constitue la phase de décision proprement dite. Elle consiste à restreindre l'ensemble des possibilités au sous-ensemble des possibilités sélectionnées,

évaluation: cette phase a pour objet d'évaluer la qualité de la prise de décision et peut impliquer si nécessaire un retour à l'une des phases précédentes.

L'acte de décider ne constitue ainsi qu'une partie, indissociable, du processus complet de décision.

#### ***3.2. Liste des processus associés au pilotage hybride***

Nous détaillons dans cette partie les différents types de processus décisionnels, au niveau égalitaire et superviseur du pilotage hybride. Les types de processus décisionnels sont présentés suivant la classification définie dans [Lévine et al. 89].

##### ***3.2.1. Processus de décision structurés***

Trois processus décisionnels sont considérés comme structurés. Ils concernent le processus d'ordonnement de la ressource goulot:

détection des charges potentielles maximales par le superviseur,  
choix de la ressource goulot par le superviseur,  
l'ordonnancement partiel de la ressource goulot par le superviseur.

Dans ce cas, le problème d'ordonnancement n'est pas de complexité élevée (faible combinatoire, données exclusivement numériques, etc.), ce qui permet l'exploitation d'une algorithmique d'optimisation sans interaction avec l'opérateur.

### 3.2.2. *Processus de décision peu structurés*

Les processus décisionnels peu structurés sont:

séquençement des ordres d'allocation: en particulier l'allocation de la première opération de chaque ordre de fabrication par le superviseur. Ce problème se pose aussi pour une SIP qui possède au minimum deux opérations à allouer,  
gestion des files d'attente du stock d'entrée: ce processus décisionnel concerne le choix du séquençement de la réalisation des opérations. Il ne concerne généralement pas la SIP goulot, sauf en cas de ré-ordonnancement local,  
gestion des variables d'action locales: chaque SIP est responsable d'un ensemble de ressources (production, convoyage, etc.). Il est donc nécessaire de spécifier les paramétrages de ces ressources (taux d'occupation, vitesse, etc.),  
gestion de chaque allocation: chaque SIP (y compris éventuellement le superviseur) doit allouer les opérations suivantes à réaliser sur un produit,  
pour la ressource ordonnancée: ré-ordonnancement local d'une partie de l'ordonnancement spécifié par le superviseur.

Pour l'ensemble de ces processus décisionnels, l'intégration de l'opérateur humain permet d'améliorer le pilotage pour le respect des objectifs.

### 3.2.3. *Processus de décision non structurés*

choix de remise en question ou non de l'ordonnancement prévisionnel. Ce choix est fait a priori par le superviseur,  
choix de ré-allocation ou non d'une opération en cours: une SIP peut envisager la ré-allocation d'une opération entamée,  
pour la ressource ordonnancée: choix de la remise en question ou non d'une partie de l'ordonnancement prévisionnel.

La complexité résulte de la difficulté pour le décideur à évaluer dans sa globalité (au niveau du système de production entier) et de manière relative les solutions envisageables.

Dans le cas où le décideur conclut au besoin de ré-allouer par exemple, la ré-allocation est de type peu structuré. Ainsi, dans notre cas:

choix de la remise en question ou non (ré-allocation, ré-ordonnancement): processus non structuré,  
dans l'affirmative: processus peu structuré ou structuré.

Cette particularisation montre bien la différence, en terme de complexité, par exemple, entre la comparaison de deux ordonnancements prévisionnels (processus peu ou pas structuré) et l'élaboration d'un ordonnancement prévisionnel (processus peu structuré ou structuré).

## 3.3. *Aspect multicritère*

Dans le cas par exemple du processus d'allocation dynamique de tâches, les approches classiques exploitent des algorithmes d'optimisation basés sur les règles d'allocation qui favorisent dans de nombreux cas les opérations qui présentent:

le délai le plus court (règle "Earliest Due Date:EDD"),  
le temps de production le plus faible (règle "Shortest Production Time: SPT").

Malheureusement, cette simplification réduit fortement l'adéquation du modèle de décision à la réalité. En effet:

les calculs sont très complexes (optimisation portant sur de nombreuses variables de nature différente: continue et discrète), et sont d'autant peu efficaces que les données sont réduites et simplifiées, l'intégration de contraintes particulières (commande urgente, préférence pour une machine) est difficile à réaliser, les caractéristiques propres au système de production sont difficilement prises en compte: usure outil, capacité de stockage, temps de changement outil, procédures de re-initialisation, etc.

En outre, une décision résulte d'un compromis entre des critères conflictuels exprimés en terme de coût, délais ou qualité. Chaque processus de décision de pilotage est par essence multicritère.

L'exploitation de méthodes multicritères permet d'intégrer l'ensemble des ces contraintes, en particulier par le fait que les hypothèses sur lesquelles se basent celles-ci sont relativement proches de la réalité.

### **3.4. Intégration de l'opérateur humain**

Dans le cas du pilotage, le système de décision n'est pas capable d'intégrer toutes les données nécessaires pour prendre une décision satisfaisante. En outre, il est parfois nécessaire de laisser l'opérateur entièrement libre de sa décision lorsque certains critères de décision ne peuvent pas être formalisés ou pris en considération par le système: préférence d'utilisation pour une ressource particulière, anticipation d'une commande, etc. Ainsi, l'utilisateur doit être intégré au processus de décision.

Il faut en outre souligner que:

les occurrences des tâches décisionnelles ne sont pas uniques, l'efficacité du processus de fabrication en terme de délai dépend du temps de réflexion nécessaire pour chaque processus de décision, et ce même si ceux-ci sont anticipés (pré-allocation, etc.).

Les conséquences sont les suivantes:

l'opérateur doit en un temps réduit élaborer une décision, et ce, de manière répétitive pour certaines d'entre-elles (allocation, etc.). Il est donc nécessaire de mettre en place des mécanismes de traitement simples et efficaces comme le souligne [Pomerol et al. 93]: "la confiance du décideur se porte naturellement sur les méthodes simples", le temps nécessaire au déroulement du processus décisionnel doit être largement inférieur aux caractéristiques temporelles du processus de production (par exemple, temps opératoire moyen par SIP).

Il faut aussi garder à l'esprit que, dans le cas d'un atelier flexible de production, les marges portant sur les délais sont la plupart du temps réduites et le temps moyen entre deux allocations est faible. Ce qui conditionne fortement la méthode de résolution du processus décisionnel.

### **3.5. Proposition d'un SIAMD**

Il résulte de l'analyse précédente que la conception d'un SIAMD pour le pilotage doit rechercher un compromis entre:

la nécessité d'intégration d'une approche multicritère dans le processus de décision, les besoins associés à la structure de pilotage hybride temps-réel:  
- besoin d'interactivité avec l'opérateur,  
- nécessité de réaliser les différents processus décisionnels selon des temps suffisamment faibles par rapport aux caractéristiques temporelles du système de production, l'objectif de limitation des contraintes psychologiques (effet de stress, etc.) auxquelles est soumis l'opérateur humain.

Nous avons montré la nécessité de l'intégration au sein de chaque SIP d'un Système Interactif d'Aide multicritère à la Décision. Il est nécessaire de définir une telle structure compatible avec l'approche de pilotage hybride à ordonnancement partiel.

### 3.6. Modes de coopération

Le SIAMD doit tenir compte de la multiplicité des types de comportement de l'opérateur mise en évidence et proposer une large échelle de coopération qui permette à l'opérateur:

d'élaborer sa décision et de la justifier sans l'aide du SIAMD, en exploitant uniquement les renseignements disponibles (c'est le cas de comportement basé sur la connaissance). Ce mode de coopération est utile dans les cas où le SIAMD ne peut fournir qu'une aide minimale: organisation des données et évaluation succincte de la décision. C'est un mode où le niveau de coopération est peu élevé. Nous le désignons sous le terme "Mode Opérateur",

d'élaborer conjointement une décision avec le système d'aide. Le rôle du SIAMD n'est plus uniquement de fournir un ensemble de données organisées. L'utilisation de méthodes multicritères permet de fournir une aide en terme de proposition de décision; le choix final de l'opérateur peut naturellement contredire partiellement ou totalement les propositions du SIAMD. Nous désignons ce mode sous le terme "Mode Coopératif". Il est possible de définir plusieurs sous-modes de coopération afin de proposer un niveau de coopération adapté au contexte et à l'opérateur,

de laisser le SIAMD élaborer les décisions. Le niveau de coopération est dans ce cas minimal. Le SIAMD informe l'opérateur de ce choix. Nous désignons ce mode sous le terme "Mode Autonome".

### 3.7. Phase d'information: Structure de communication

La recherche de l'information (phase d'information) est réalisée de deux manières complémentaires:

localement: c'est le système d'information de chaque SIP qui est exploité,

globalement lorsqu'un processus décisionnel nécessite une information qui n'est pas disponible localement. La structure de communication est utilisée pour accéder à cette information.

De ce fait, l'intégration d'une structure de communication et d'un SIAMD au sein de chaque SIP concourent à la réalisation de l'ensemble des processus décisionnels.

Nous utilisons la notion de protocole de communication que nous définissons comme une procédure de transfert d'information, décrite par étapes. De ce fait, c'est une notion très large qui peut s'adresser à plusieurs niveaux d'applications.

Un message est décrit sous forme générique par un triplet  $\langle S,C,X \rangle$ , il est composé d'un émetteur S, d'un récepteur C et d'un contenu X.

Deux niveaux ont été définis. Le niveau T gère le transfert effectif d'un message et doit s'assurer de la réception sans erreur du message. Le niveau T est lié à la syntaxe de la communication.

Le niveau A traite les informations échangées comme un ensemble de messages  $\langle S,C,X \rangle$ . Le niveau A est lié à la sémantique de la communication.

La figure 4 détaille la structure hiérarchique des deux niveaux au sein du sous-système de communication.

.

Figure 4. intégration des deux niveaux de communication

Le niveau T correspond à un protocole unique, le Protocole de Transfert et concerne deux agents. Ce protocole est utilisé exclusivement à chaque appel provenant du niveau A concernant au moins deux agents.

Le niveau A regroupe l'ensemble des protocoles (d'information entre SIP et superviseur, d'allocation entre SIP et d'ordonnancement par le superviseur) qui permettent la mise en oeuvre des processus décisionnels à information répartie.

Le protocole d'information permet au superviseur d'être informé des différentes dates de début et de fin de production réelles pour chaque opération.

Le protocole d'allocation s'appuie sur le principe de la négociation entre SIP afin de détecter la SIP la plus satisfaisante pour une opération donnée.

Le protocole d'ordonnancement a pour objet de permettre au superviseur de détecter et d'ordonner la ressource goulot.

Un premier niveau de robustesse a été intégré au sein des différents protocoles en utilisant la notion d'état d'attente, ce qui permet de prendre en compte par exemple, l'occurrence de pannes du système de communication.



## 4. Auto-adaptativité

Nous définissons l'auto-adaptativité d'un système de pilotage comme la capacité à pouvoir intégrer au mieux l'aspect dynamique du processus de fabrication. Cette notion définie dans [Trentesaux et al. 95] se caractérise par:

la réactivité ou la capacité à supporter les événements perturbateurs imprévus. Ce sont typiquement les perturbations aléatoires telles que les pannes, les ordres urgents, etc. Cette caractéristique peut être associée à la notion de régulation dans le domaine de l'automatique.

la flexibilité ou la capacité à supporter les événements perturbateurs prévus. Ce sont des perturbations du type modification de la structure de production (ajout/retrait SIP, etc.), des processus de fabrication (modification de la gamme opératoire, etc.), des caractéristiques ressources (temps de changement outil, taux de production).

On peut considérer la réactivité et la flexibilité selon les trois points de vue ressource, produit et flux [Trentesaux et al. 95].

### 4.1. Réactivité

#### 4.1.1. Point de vue ressource

La réactivité du point de vue ressource concerne principalement les pannes, c'est à dire:

pannes SIP (sous-système, ressource contrôlé, etc.) au niveau égalitaire de la structure, que cette SIP soit ressource goulot ou ressource non-goulot,  
pannes SIP au niveau supervision,  
pannes du réseau de communication, etc.

Ces pannes nuisent au respect des objectifs, mais leur importance est réduite par la gestion dynamique des événements.

#### 4.1.2. Point de vue produit

La réactivité du point de vue produit concerne les aléas relatifs aux caractéristiques produit. Ces aléas résultent notamment de la modification des gammes opératoires ou des ordres de fabrication qui peuvent être modifiés par le client ou reconsidérés localement.

Le traitement de ces aléas est facilité par la gestion dynamique des événements. Le besoin de ré-ordonnancement est guidé par la reconfiguration des gammes opératoires.

#### 4.1.3. Point de vue flux

L'ensemble des événements concernés regroupe notamment les aléas suivants:

modification des contraintes portant sur les différents ordres de fabrication (intégration au niveau de la structure de nouveaux ordres urgents de fabrication, renégociation des dates de livraison, etc.).  
rupture de(s) stock(s) matière première (fournisseurs) et produits semi-finis (sous-traitants),

Ce type d'aléa est intégré par le niveau pilotage de la même manière que les aléas de type produit. En effet, le premier cas nécessite automatiquement la remise en cause de l'ordonnancement partiel afin d'intégrer le nouvel ensemble des ordres de fabrication ou les nouvelles dates de livraison par exemple.

Dans le second cas, un ré-ordonnancement est possible en fonction de l'importance de la rupture. Il existe cependant des méthodes permettant d'éviter les ruptures de stock, et ce, spécialement pour les ressources de type goulot.

## **4.2. Flexibilité**

Dans cette partie, nous étudions les potentialités de la structure supervisée en terme de flexibilité. Les événements concernés sont dus à l'intégration de nouvelles caractéristiques physiques ou à la remise en question des caractéristiques existantes.

### *4.2.1. Point de vue ressource*

Les événements considérés sont:

la modification de la structure de production (ajout/retrait d'une SIP),  
la modification d'une caractéristique d'une SIP.

L'ajout ou le retrait d'une SIP concerne à la fois le niveau égalitaire de la structure et le niveau supervision.

Le deuxième type d'événement est la modification d'une caractéristique d'une ressource. Cette modification est guidée par un besoin de modification des possibilités techniques ou de la capacité. Si l'évolution restreint ou accroît les caractéristiques de production, il sera nécessaire de ré-évaluer les charges potentielles pour un éventuel ré-ordonnancement. Le système d'information doit alors intégrer ces modifications et la SIP tiendra automatiquement compte de ces modifications lorsqu'elle retournera sa première acceptation.

### *4.2.2. Point de vue produit*

Les produits sont susceptibles d'être modifiés par le bureau d'études par exemple. Si la structure de production est capable de réaliser la nouvelle gamme opératoire, le superviseur aura à gérer un nouvel ordre de fabrication (associé à une nouvelle gamme opératoire). Il considérera ce dernier de la même manière que l'ensemble des ordres reçus auparavant. La procédure de ré-ordonnancement sera naturellement réalisée. Une telle modification est donc transparente pour le niveau pilotage.

### *4.2.3. Point de vue flux*

L'ensemble des événements touche la réorganisation du flux de production et les objectifs globaux. Notons en particulier:

la gestion des stocks: réduction des en-cours, prise en compte des contraintes de stockage,  
la synchronisation des flux: modification des cadences, des temps de changement outil, des lots de transformation, des lots de transfert, etc.

La gestion globalisée des stocks est permise par l'intégration au niveau du superviseur d'un ordonnancement prévisionnel. Il est ainsi possible d'ordonner la ressource goulot en vue de respecter des objectifs de production décrits en terme de flux (cadence, etc.).

## **5. Etudes**

De nombreuses études réalisées à partir de données industrielles (système de production, ordres de fabrication, gammes, etc.) ont montré que la structure hybride gère efficacement les différents cas de charge de travail et propose un compromis efficace en terme d'objectif globaux tels que la gestion juste à temps [Trentesaux 96]. Elles ont été réalisées notamment en comparant les ordonnancements réalisés a posteriori sous le contrôle de la structure hybride avec ceux élaborés de manière statique (a priori) par un logiciel d'ordonnancement (SavePlan).

D'autres études ont porté sur le fonctionnement en mode "autonome", c'est à dire sans interaction avec l'opérateur humain. Nous donnons deux exemples qui portent sur:

la capacité à absorber les occurrences de pannes (réactivité- ressource),  
la capacité à prendre en compte une modification structurelle (flexibilité -ressource).

### **5.1. Capacité à absorber les occurrences de pannes**

Un triangle noir représente la date planifiée, un triangle blanc, la date effective de début de travail pour la ressource ordonnancée (IMS #6). La figure 5 représente un ordonnancement a posteriori sous forme de diagramme Gantt. 11 ressources ont réalisé 10 ordres de fabrication composés en moyenne de 8 opérations chacun. Dans le premier cas de figure, aucune panne ne survient. Les figures 6 et 7 montrent l'ordonnancement a posteriori réalisé suite à l'occurrence de plusieurs pannes.

▪

Figure 5. pilotage hybride sans occurrence de panne

▪

Figure 6. pilotage hybride avec une occurrence de panne (SIP 5)

▪

Figure 7. pilotage hybride avec cinq occurrences de panne (SIP 3, 4, 6, 7 et 10)

Cet exemple montre que les importances des pannes sont minimisées par la gestion dynamique des événements. Dans le cas présent, une SIP en fonctionnement dégradé ne peut répondre aux demandes d'allocations et sont naturellement éliminées du processus d'allocation, ce qui réduit les performances globales mais n'implique pas nécessairement a priori un arrêt du processus entier de production.

### **5.2. Intégration d'une SIP**

Une autre étude concerne l'intégration d'une ressource particulière dans le but d'absorber une surcharge de production. L'ordonnancement est remis en question dès l'intégration de l'agent 12. Lorsque l'on constate une surcharge pour la SIP 5 (figure 8), les ordonnancements de la ressource goulot ne sont plus efficaces, cf. les écarts entre les dates planifiées et les dates de début de fabrication effectives. L'intégration d'une ressource concurrente (SIP 12) est alors envisageable afin de remédier à ce problème (figures 9 et 10). Les dates de besoin des différents ordres de fabrication sont mieux respectées.

▪

Figure 8. pas de modification structurelle

▪

Figure 9. jusqu'à la date 240, 11 agents sont disponibles

▪

Figure 10: IMS 12 est intégrée à la date 240

## **6. Conclusion et perspectives**

Les exemples et les études présentées ont été réalisées sur une ressource mono-poste (PC 486). Cette simulation nous permet de mettre en évidence les caractéristiques en terme d'adaptabilité et d'intégration des objectifs globaux de la structure de pilotage hybride. Cependant, elle nous contraint à ne simuler que le fonctionnement en mode "autonome", sans interaction avec l'opérateur humain.

Un prototype de contrôle physiquement distribuée a été réalisé afin de permettre de tester extensivement la qualité du SIAMD distribué en permettant d'intégrer à la simulation plusieurs opérateurs responsables d'une SIP en déterminant le mode de coopération adéquat. Un autre avantage de cette distribution est qu'elle permet la prise en compte des contraintes réseau: nombre de connexions possibles, taille maximale des données envoyées, etc.

Des premiers essais portant sur trois ordinateurs reliés par réseau (InterNet) ont été réalisés afin de vérifier la validité de la structure de communication complète. Le SIAMD spécifié dans cet article est en cours de réalisation. Ce point constitue la perspective principale. Il n'existe actuellement pas de spécification ou de modèle générique de SIAMD distribué au niveau opérationnel. Il nous semble important de pouvoir définir une structure générique permettant l'application à divers domaines, dans un environnement temps-réel et distribué. Le projet système coopératif d'aide à la décision pour les systèmes à événements discret (SCAD) mené dans le cadre d'un programme CNRS de coopération SHS-SPI porte notamment sur cet aspect.

## **Bibliographie**

[Lévine et al. 89] Lévine P. et Pomerol J. C., Systèmes interactifs d'aide à la décision et systèmes experts, Hermès, Paris, 1989.

[Pomerol et al. 93] Pomerol J. C. et Barba-Romero S., Choix multi-critère dans l'entreprise, collection Informatique-Hermès, Paris, 1993.

[Simon 77] Simon H. A., The new science of management decision, Prentice-Hall, New-Jersey, USA, 1977.

[Trentesaux et al. 95] Trentesaux D. et Tahon C., DPACS: a self-adaptative production activity control structure, INRIA/IEEE conference on emerging technologies and factory automation, Paris, France, 1995.

[Trentesaux 96] Trentesaux D., Conception d'un système de pilotage égalitaire supervisé et multicritère pour les systèmes automatisés de production, Thèse de doctorat, Université de Grenoble, Janvier, 1996.