



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

b 122468

THESE

présenté à
L'UNIVERSITE DE METZ

pour obtenir le titre de
DOCTEUR L'UNIVERSITE DE METZ

Spécialité : **SCIENCES DE L'INGENIEUR**

par
BELMAHDI Nour eddine
Ingénieur ENSEM

Intitulé de la thèse:

**CONTRIBUTION A L'ORGANISATION DU SYSTEME DE
PRODUCTION PAR LA MODELISATION ET SON EVALUATION
PAR LA SIMULATION**

Soutenue le 13 Décembre 1995 devant la commission d'examen:

MM.	BERTRAND J.-C.	Président et rapporteur
	CAZIN M.	rapporteur
	CAM G.	
	NADIF A.	

BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE DE METZ



022 420888 4

THESE

présenté à
L'UNIVERSITE DE METZ

pour obtenir le titre de
DOCTEUR L'UNIVERSITE DE METZ

Spécialité : **SCIENCES DE L'INGENIEUR**

par
BELMAHDI Nour eddine
Ingénieur ENSEM

Intitulé de la thèse:

**CONTRIBUTION A L'ORGANISATION DU SYSTEME DE
PRODUCTION PAR LA MODELISATION ET SON EVALUATION
PAR LA SIMULATION**

Soutenue le 13 Décembre 1995 devant la commission d'examen:

MM.	BERTRAND J.-C.	Président et rapporteur
	CAZIN M.	rapporteur
	CAM G.	
	NADIF A.	
	PADILLA P.	

UNIVERSITE DE METZ SCIENTIFIQUE	
N° Inv.	19950595
Cote	S/M3 95/31
Loc	Magasin
Cat	

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Monsieur Nadif de m'avoir dirigé le long de ce travail et pour ses conseils judicieux. Il a été pour moi un encadrant exceptionnel.

Je suis honoré de remercier la Direction du Laboratoire Mécatronique Industrielle qui m'a accueillie pour réaliser ce travail.

Je remercie vivement Monsieur Wurmer d'avoir accepté de collaborer avec le Laboratoire Mécatronique Industrielle.

Je tiens à remercier Monsieur Rénato et Madame Lutt. Leur contribution m'a été utile pour mener à bien ce travail.

Je remercie tous mes collègues, chercheurs, en particulier mes amis, qui m'ont soutenu et n'ont pas hésité à sacrifier une partie de leurs temps pour faire aboutir ce travail.

Enfin, j'associe à ces remerciements:

MM. Bertrand Jean-Claude	(Professeur à l'Université d'AIX-MARSEILLE III, Directeur de l'Institut Universitaire des Sciences pour l'Ingénieur de MARSEILLE)
Cam Guy	(Professeur-associé à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz)
Cazin Michel	(Professeur émérite du CNAM de PARIS)
Nadif Abdellah	(Maître de Conférences à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz)
Padilla Pierre	(Professeur, Directeur de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz)

qui m'ont fait l'honneur de participer à ce jury.

TABLE DES MATIERES

	pages
INTRODUCTION GENERALE	3
1. LES CARACTERISTIQUES D'UN SYSTEME DE PRODUCTION	6
1.1. DEFINITION ET CLASSIFICATION	7
1.2. LA GESTION DE PRODUCTION	8
1.2.1. Influence de l'environnement	9
1.2.2. Etude des différents composants du système de production	11
1.3. LA REACTION DES ENTREPRISES	17
1.4. MODELISATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION	18
1.4.1. CARACTERISTIQUES DES MODELES DU SYSTEME DE PRODUCTION	18
1.4.2. LES MODELES EXISTANTS DU SYSTEME DE PRODUCTION	20
1.4.2.a. Approche Hiérarchique	20
1.4.2.b. Approche Orientée Objet	21
1.4.2.c. Approche Systémique	22
1.4.3. LES OUTILS DE MODELISATION	22
1.4.4. LES CONCEPTS CIM ET CIM-OSA	23
1.5. CONCLUSION	25
2. NOUVELLE APPROCHE DU SYSTEME DE PRODUCTION	27
2.1. Définition du modèle général	28
2.2. Première phase de la modélisation: modèle d'expression des besoins et vue fonctionnelle	30
2.3. Deuxième phase de la modélisation: modèle de spécification des besoins et vue fonctionnelle	32
2.4. Troisième phase de la modélisation: modèle de spécification des besoins et vue informationnelle	37
2.5. Quatrième phase de la modélisation: modèle de spécification des besoins et vue ressource	45
2.6. Cinquième phase de la modélisation: modèle de spécification des besoins et vue organisationnelle	48
2.7. Sixième phase de la modélisation: modèle descriptif de réalisation	50
2.8. CONCLUSION	52
3. APPLICATION DU MODELE PFA POUR UN SYSTEME DE PRODUCTION	54
3.1. MODELE D'EXPRESSION DES BESOINS ET VUE FONCTIONNELLE	55
3.2. MODELE DE SPECIFICATION DES BESOINS ET VUE FONCTIONNELLE	58
3.3. MODELE DE SPECIFICATION DES BESOINS ET VUE FORMATIONNELLE	64
3.4. CONCLUSION	70

4. APPLICATION DU MODELE PFA EN VUE D'UNE SIMULAION D'UN EXEMPLE	71
4.1. LA SIMULATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION	72
4.1.1. Modèle de simulation: Evénements-Activités-Processus	72
4.1.2. Les langages de simulation	72
4.2. SIMULATION PAR LE MODELE PFA (PROCESSUS-FONCTIONS-ACTEURS)	73
4.2.1. Données du problème	73
4.2.2. Modélisation à l'aide du modèle PFA	76
4.2.3. Structure du modèle de simulation	81
4.2.4. Résultats de la simulation	85
4.3. CONCLUSION	91
5. APPLICATION DU MODELE PFA POUR EUDIER UN CAS INDUSTRIEL	92
5.1 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	92
5.2 MODELISATION DU SYSTEME DE PRODUCTION DE LA SOCIETE ATTI	93
5.2.1 Première phase de la modélisation	94
5.2.2 Deuxième phase de la modélisation	96
5.2.3 Troisième phase de la modélisation	103
5.2.4 Quatrième phase de la modélisation	106
5.2.5 Cinquième phase de la modélisation	107
5.2.6 Sixième phase de la modélisation	107
5.3. CONCLUSION	108
CONCLUSION	110
BIBLIOGRAPHIE	112
ANNEXES	117
ANNEXE 1 : OUTILS DE MODELISATION	118
ANNEXE 2 : TGAO	124
ANNEXE 3 : LANGAGES ET LOGICIELS DE SIMULATION	128
ANNEXE 4 : MODELISATION DES FONCTIONS A L'AIDE DE GRAFCET	129
ANNEXE 5 : PROGRAMME DE SIMULATION	134

INTRODUCTION GENERALE

De nombreux facteurs tels que la mondialisation du marché, le durcissement de la réglementation, l'évolution rapide et incertaine des marchés et des produits, la nécessité de satisfaire le client, se sont traduits par une complexité accrue du système de production d'où la difficulté de sa gestion. Ces facteurs sont autant de défis que les entreprises doivent réussir pour survivre aux mutations permanentes du marché.

Le marché actuel impose aux entreprises de nouvelles contraintes. En effet, on est passé d'une époque où le prix était imposé par l'entreprise, à une époque où le prix est fixé à l'extérieur de l'entreprise [MAR-92]. La compétitivité du marché devient une réalité permanente pour les entreprises. Ceci est le résultat de plusieurs facteurs:

- des clients qui deviennent de plus en plus exigeants et demandent des produits moins chers, de bonne qualité et dans les plus brefs délais,
- la durée de vie des produits devient de plus en plus courte.

Face à ces contraintes, les entreprises ont commencé à remettre en cause leurs méthodes d'organisation. Ainsi, le choix d'une diversification des produits est apparu comme une solution nécessaire pour satisfaire le client et pour utiliser pleinement les moyens disponibles dans l'entreprise. L'innovation est naturellement le moyen d'y parvenir. Mais elle doit s'accompagner d'une réduction de la durée entre la conception d'un produit et sa mise sur le marché. Pour cela, il est nécessaire de maîtriser les flux financiers, informationnels et physiques. L'intégration comme, concept visant à mettre en oeuvre les moyens de communication et d'informatique pour coordonner l'ensemble des activités de l'entreprise, est l'une des réponses technologiques clés durant les années quatre-vingt-dix. L'objectif de ce travail est de chercher une méthode permettant cette intégration dans le cadre d'une entreprise manufacturière de produits propres.

Contexte de l'étude

Pour faire face à une concurrence nationale et internationale accrue, de nombreux industriels engagent des réflexions sur la manière d'organiser leur production pour être compétitifs. Trop souvent, ces réflexions sont menées de façon empirique et s'avèrent notoirement insuffisantes pour faire face à la complexité des ateliers actuels [PIE-90]. Il est donc nécessaire de:

- développer des méthodes pour mieux organiser la production,
- concevoir des outils d'aides à la gestion de la production.

Plusieurs méthodes et outils existent actuellement. Mais après analyse de ces derniers, on peut constater que:

- les outils ne permettent pas d'intégrer les différentes fonctions existant dans un système de production. Or l'intégration est une exigence primordiale des années 90. Le concept CIM (Computer Integrated Manufacturing) permet de répondre à ce besoin en s'efforçant d'apporter la bonne information, à la bonne place, à l'instant opportun, sous la forme et avec la rapidité nécessaire [VER-94]. Cependant pour réussir l'implantation de CIM, il reste à trouver une approche globale permettant le développement d'un modèle intégré du système de production.
- les outils existants ne prennent pas en compte la nécessité d'une gestion flexible,
- ils ne mettent pas en évidence le lien entre le système de décision et le système d'information.

La modélisation est l'une des solutions aux problèmes décrits ci dessus. Cependant les approches existantes permettent de trouver des modèles qui ne recouvrent qu'un aspect du système de production. Or, les contraintes du marché actuel imposent aux entreprises une vue globale. Ainsi il est nécessaire de concevoir une méthode cohérente permettant d'appréhender les différentes dimensions des ateliers modernes, et d'intégrer les différentes fonctions de production.

Apport de ce travail de recherche

Le contexte actuel nous a amenés à nous engager sur trois axes de recherche:

- Concevoir un modèle global intégrant les différents aspects du système de production (décision, physique, information).
- Développer une méthodologie de modélisation capable de déterminer toutes les liaisons nécessaires dans une entreprise, puis de définir la nature de ces liaisons et les équipements nécessaires à leurs réalisations.
- Utiliser la simulation pour évaluer les performances d'un système de production.

La manière dont on conduit l'analyse d'un système industriel conditionne le succès des solutions mises en place pour résoudre les problèmes posés. Cependant ces approches sont souvent, d'une part, soit trop générales ou trop spécifiques, et d'autre part, elles ne permettent pas une intégration du système de production. En effet, on s'aperçoit que chaque laboratoire de recherche est spécialisé dans une méthode de modélisation qu'il va utiliser systématiquement lors d'un projet avec une entreprise. Ceci va biaiser la modélisation car les problèmes et donc les attentes des entreprises, vis à vis d'un laboratoire de recherche, ne sont pas toujours similaires. L'approche **Processus-Fonction-Acteur** (PFA) proposé dans ce rapport a pour but principal de palier aux défauts des outils de modélisation existants en proposant une démarche permettant de réaliser un modèle intégré du système de production. Plus qu'un outil de modélisation, c'est une méthode de conduite de projet de réorganisation de la production en tenant compte des aspects fonctionnel, informationnel, ressource et organisationnel. Elle s'inscrit dans une démarche CIM-OSA en partant du modèle de spécification des besoins, en passant par le modèle de spécification fonctionnelle on aboutit à un modèle de réalisation.

Composition de ce mémoire

Ce rapport comprend quatre parties:

La première partie est consacrée à l'étude des caractéristiques des systèmes de production. En effet, l'objet de cette partie est de montrer l'influence de l'environnement externe (clients, fournisseurs ...) et interne (les autres services de l'entreprise) sur le système de production. Ceci afin de mettre en évidence les contraintes exercées sur le système de production. D'autre part, nous étudions le fonctionnement des différents services existants dans le système de production. Cette étude nous permettra de se rendre compte que dans chaque service un certain nombre de décisions sont prises pour résoudre des problèmes posés. Or, on sait qu'un optimum local est totalement différent d'un optimum global. Il faut donc que les décideurs utilisent des méthodes de résolution des problèmes qui permettent de trouver des solutions globales. Ceci doit passer par une modélisation qui permet de prendre en compte plusieurs aspects de la production. Dans le premier chapitre nous présentons les méthodes de modélisations existantes en montrant leurs insuffisances quant à l'intégration de la production.

La deuxième partie présente une nouvelle approche de modélisation appelée Processus-Fonction-Acteur (PFA). En partant d'une analyse systémique, on définit deux entités: Processus et Acteurs. La première entité correspond à la partie décisionnelle du système de production, alors que la deuxième correspond à la partie physique. L'originalité de l'approche réside dans l'introduction d'une nouvelle entité appelée "Fonction" qui permet de superviser les relations entre les processus et les acteurs. Ceci implique une vraie intégration des trois niveaux suivants:

- niveau gestion de production
- niveau supervision
- niveau atelier

La troisième partie donne un exemple d'application de la méthodologie proposée pour établir un modèle d'un système de production intégré. En effet, l'application de l'approche PFA nous a permis d'aboutir à un modèle qui permet de déterminer l'ensemble des flux d'information entre, d'une part, le système de production et son environnement, et d'autre part entre les différents sous processus de la production.

La quatrième partie est consacrée à l'application de la nouvelle méthode pour simuler un exemple de fabrication de produits. En effet, l'application de l'approche PFA aboutit à un modèle qui est facilement traduit en modèle de simulation.

La cinquième partie traite le cas industriel de la société ATTI. L'application de la méthode PFA nous a permis de modéliser son système de production en vue de l'implantation d'un système GPAO.

1

LES CARACTERISTIQUES ET LES METHODES DE MODELISATION D'UN SYSTEME DE PRODUCTION

L'entreprise est sujette à un marché en pleine mutation. Ainsi, elle a connu successivement trois environnements différents qui l'ont conduite à choisir des modes de production distincts entre eux à différents niveaux: organisationnel, technique, stratégique...

Le premier environnement est caractérisé par un marché avide de produits. L'entreprise adopte une production en masse basée sur la standardisation des produits. Celle-ci permet d'augmenter la productivité de l'entreprise et de réduire le prix de revient. L'organisation scientifique du travail, appelé le Taylorisme, a permis une production peu diversifiée, mais en grande série.

La fin des années 60 a été caractérisée par un équilibre entre la demande et l'offre. Pour faire face à une demande variée et instable, l'entreprise a développé d'une part, sa fonction conception pour diversifier sa gamme de produits, et a engagé une politique commerciale pour affronter une concurrence mondialisée et agressive.

A partir des années 70, l'offre devenait supérieure à la demande. Le marché se caractérise par une mondialisation et de nouvelles contraintes s'imposent aux entreprises.

Face à ces contraintes les entreprises ont engagé des changements suivant plusieurs axes. Ce chapitre expose les tendances dominantes des réactions des entreprises pour répondre aux exigences actuelles du marché.

Pour y parvenir, l'entreprise doit disposer des méthodes et outils lui permettant, d'une part, le diagnostic de sa situation, et d'autre part, la communication entre les différents acteurs impliqués. D'où l'intérêt de la modélisation comme étape souvent incontournable pour étudier un système de production.

Ce chapitre a pour objet d'exposer les caractéristiques d'un système de production. Ceci afin de montrer sa complexité, qu'il faut prendre en compte avant de s'engager dans toute conception de nouvelle méthode de modélisation. De plus, nous présenterons les outils de modélisation existants, afin de palier à leurs défauts lors de la conception de notre nouvelle approche de modélisation.

1.1. DEFINITION ET CLASSIFICATION D'UN SYSTEME DE PRODUCTION

Avant de définir un système de production, il est utile de donner une définition d'un système quelconque. La norme française NF E 90.001 définit un système comme: "Une association de sous-systèmes constituant un tout organique complexe destiné à remplir une fonction générale" [BRE-92]. Le système de production est un sous système de l'entreprise. La figure 1 montre la place du système de production dans l'entreprise et ses interactions avec les différents services.

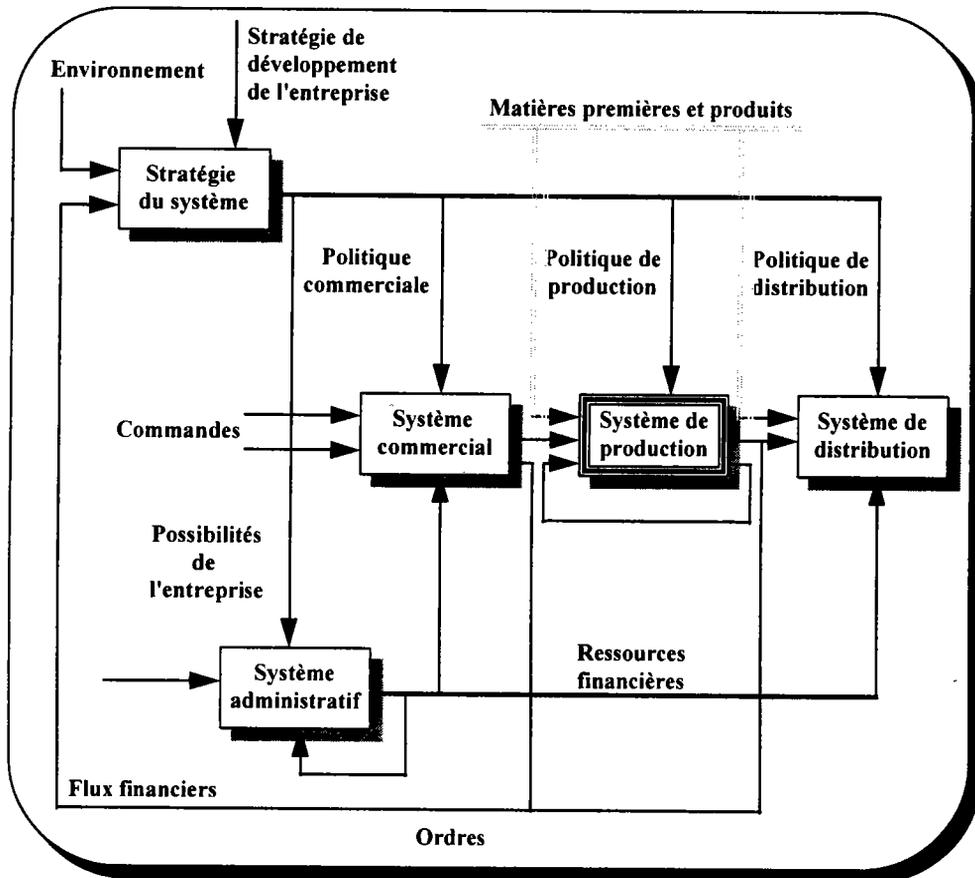


Fig. 1 Place du système de production dans l'entreprise

Pour étudier un système de production, il convient de se demander s'il est possible d'établir une classification des différents types de production existants dans le tissu industriel.

Une première classification, selon la nature du système physique de production, définit quatre catégories de système de production [HIL-88]:

1. **Système à gestion pure:** dans ce cas il n'y a pas de processus de fabrication.
2. **Système de production continue:** le flux de production est continu. Ce système se caractérise par une forte tendance vers une structure organique. Ceci peut s'expliquer par le haut niveau d'autonomie des membres de l'organisation et par l'automatisation du processus de production (exemple: production de Gaz, d'Electricité).
3. **Système de production discontinue:** le flux de production est discontinu. Dans ce cas, le système rencontre de gros problèmes de gestion de production. En effet, la complexité du

système de production et l'incertitude du marché exigent un effort important de gestion de production (exemple: fabrication de voitures...). *Dans toute notre étude, on se placera dans un contexte de production discontinue.*

4. **Système de production par projet:** la production est dans ce cas sous forme d'un projet non répétitif. Elle est caractérisée, d'une part, par la non-standardisation de ses activités et de ses produits; et d'autre part, par une organisation à technologie unitaire. Dans ce cas, la direction a une orientation davantage stratégique et une action orientée vers l'environnement (exemple: projet de construction d'un pont...).

Une deuxième classification, basée sur la demande du marché et selon la nature du système de pilotage, définit trois types de système de production [PLO-93]:

1. **Fabriquer pour stocker “ MTS ” (Make-To-Stock):** dans ce cas, on produit pour stocker sans attendre une demande de fabrication. Ceci implique que le système de pilotage doit se concentrer sur les objectifs suivants:
 - minimiser les stocks des magasins amonts (matières premières, composants, etc.).
 - utiliser au maximum la capacité du système physique de production.
2. **Fabriquer par ordre “ MTO ” (Make-To-Order):** la fabrication d'un produit est lancée après la réception d'une demande d'un client [HIC-88]. Dans ce cas, l'entreprise personnalise les produits livrés en fonction du choix de variantes et des options spécifiées par le client. Ceci implique que le pilotage de la production doit s'orienter vers les objectifs suivants:
 - minimiser les stocks,
 - minimiser le délai entre la passation de la commande et la date de livraison.
3. **Assembler par ordre “ ATO ” (Assemble-To-Order) :** dans ce cas, on fabrique les pièces et on attend la demande d'un client pour les assembler suivant les spécifications des commandes [KIN-88]. L'entreprise doit maîtriser sa capacité de production, et non des caractéristiques du produit. Le système de pilotage de production doit avoir les objectifs suivants:
 - assurer l'adéquation entre les caractéristiques des produits et les ressources des systèmes de conception et de production,
 - raccourcir au maximum les délais d'étude, de développement et de réalisation,
 - minimiser les coûts de conception et de production.

1.2. LA GESTION DE PRODUCTION

Le système de production est un système très complexe. D'une part, il est en interaction avec son environnement (figure 1) et d'autre part, il est composé de plusieurs sous-systèmes interdépendants comme le montre la figure 2. Pour étudier les caractéristiques du système de production, il est nécessaire, en premier lieu, d'analyser l'influence de l'environnement sur la gestion de production (§1.2.1) et en second lieu, d'étudier les relations entre les différents services du système de production (§1.2.2).

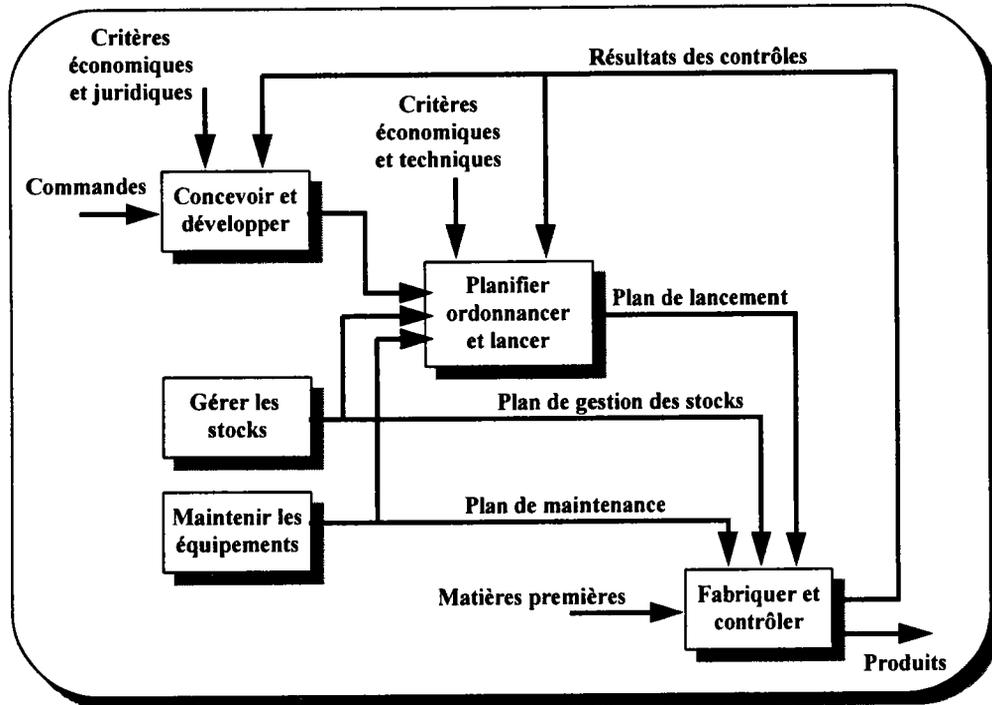


Fig. 2 Les différentes fonctions d'un système de production

1.2.1. INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT SUR LE SYSTEME DE PRODUCTION

La figure 3 montre que le système de production évolue dans son environnement que l'on peut séparer en deux parties:

1. Environnement interne: les différents services de l'entreprise
2. Environnement externe: le marché, les fournisseurs...

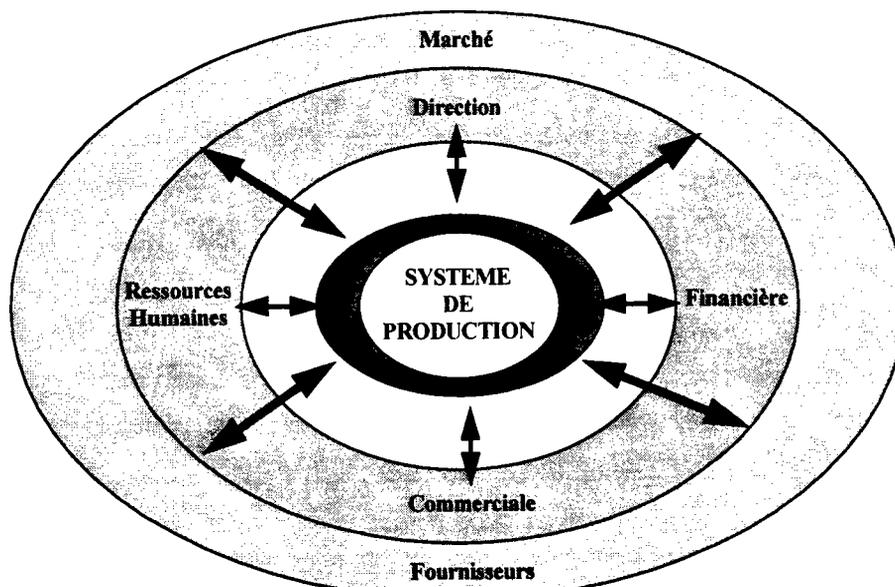


Fig. 3 Environnement d'un système de production

1.2.1.a. Influence du marché

La situation actuelle de l'entreprise, au sein de son environnement, est caractérisée par:

1. L'explosion spectaculaire de la technique, de la technologie et du savoir faire.

2. Le temps qui devient de plus en plus un facteur de compétitivité.
3. La mondialisation du marché.
4. L'évolution rapide et incertaine des marchés et des produits dans le temps et l'espace.
5. L'évolution de la demande.
6. Un durcissement de la réglementation.
7. Un système d'information de plus en plus complexe.

La répercussion de ces facteurs sur les entreprises s'est traduite par une augmentation de la complexité du système de production et une incertitude quant à la gestion de production.

1.2.1.b. Influence du service marketing

Bien que le service de marketing ne fasse pas partie du service de production, la relation entre ces deux services a des conséquences sur les performances globales de l'entreprise. Or la plupart des auteurs considère que toutes les demandes des clients doivent être acceptées en supposant que la capacité de l'atelier est infinie. Cette hypothèse n'est pas réaliste et peut conduire à la formation de goulots d'étranglement dans l'atelier, et au risque de fabriquer un produit au-delà des délais. Il est donc préférable, dans certains cas de refuser une demande plutôt que de l'accepter et de prendre le risque de porter préjudice à l'image de marque de l'entreprise en ne respectant pas les délais. L'arbitrage entre ces deux solutions dépend de la nature de la production et de la politique de l'entreprise [PIH-92].

La démarche du service marketing et celle du service de production est souvent antagoniste. En effet, les conflits entre eux résident dans les points suivants [NOL-86]:

- le service marketing a tendance à rechercher une grande diversité dans les produits alors que le service de production souhaite avoir des gammes très réduites de produits à fabriquer,
- le service marketing compte sur la flexibilité pour répondre aux changements de la demande autant du point de vue des quantités requises que des types de produits demandés, alors que le service de production recherche la stabilité afin de mieux planifier l'achat des matières et le déclenchement des opérations de fabrication.

1.2.1.c. Influence du service de direction

La direction fixe la stratégie globale de l'entreprise. Elle correspond aux orientations générales que les dirigeants ont choisies pour atteindre les objectifs visés. Cette stratégie fixe la politique de commercialisation, la politique de production et de financement. Il est clair que l'objectif principal de la gestion de production doit s'inscrire dans cette stratégie globale. Le choix du mode d'organisation de la production, de la stratégie en matière de gestion des stocks, d'entretien et d'approvisionnement et de la méthode de gestion de qualité doit être en accord avec la stratégie globale fixée par la direction.

1.2.1.d. Influence du service financier

Le système de production doit disposer des fonds nécessaires pour acheter les matières premières, l'énergie, les équipements de production et autres. En effet, la majeure partie des capitaux investis

dans une entreprise industrielle, le sont dans la production, c'est-à-dire dans les installations utilisées pour la réalisation des produits et leur stockage. Cet investissement est utilisé pour atteindre les objectifs suivants:

- expansion de l'appareil de production pour augmenter sa capacité,
- modernisation de l'appareil de production pour augmenter la productivité ou la qualité de production,
- renouvellement de certaines parties de l'appareil de production pour faciliter l'adaptation à de nouveaux produits.

1.2.1.e. Influence du service des Ressources Humaines

Le service des Ressources Humaines détermine, à partir des objectifs visés par l'entreprise, les besoins en personnel et s'occupe de leur embauchage et de leur formation. En effet, le plan de gestion prévisionnelle des emplois et des compétences permet d'établir pour chaque projet de l'entreprise la liste du personnel nécessaire et les qualifications exigées. Ceci a un impact direct sur le bon fonctionnement de la production pour les raisons suivantes:

- le personnel doit être en adéquation, d'une part, avec les objectifs de la production, et d'autre part, avec les ressources en matériel disponible dans l'atelier.
- le bon fonctionnement de la production dépend du niveau de qualification des opérateurs,
- chaque poste de travail doit être occupé par un opérateur ayant la qualification exigée,
- la polyvalence du personnel permet une meilleure flexibilité de la production,
- le choix rapide de personnel intérimaire, en cas de besoin, permet de respecter les délais,
- une bonne gestion des carrières permet de motiver le personnel.

Le service du Personnel comprend toutes les activités d'embauche et de formation. La disponibilité du personnel, le recours à des heures supplémentaires ou à des personnes extérieures ont des conséquences directes sur la gestion de production.

1.2.2. ETUDE DES DIFFERENTS COMPOSANTS DU SYSTEME DE PRODUCTION

La gestion de la production peut être vue d'une manière restreinte ou large. Dans le premier cas, elle se limite à la planification et l'ordonnancement, alors que dans le deuxième cas, elle regroupe plusieurs fonctions, qui bien qu'extérieures au système de production, ont des conséquences directes sur la gestion de production.

1.2.2.a. Conception et préparation d'un produit

La réussite concurrentielle d'une entreprise est liée à sa capacité en matière d'innovation des produits ou des procédés. L'entreprise doit choisir les idées qui sont conformes à ses objectifs, à ses ressources, à sa capacité distinctive ou à celle qu'elle désire se donner.

La phase de conception et de préparation comprend plusieurs étapes tels que:

- conception, choix et planification des processus de fabrication et d'assemblage,
- conception et choix d'outillages,
- conception et planification des installations,

- éventuellement, conception ou adaptation et planification des sous-systèmes de pilotage.

1.2.2.b. Planification

Le système de décision dans une entreprise est souvent partagé en trois niveaux: planification à long terme, planification à moyen terme, et planification à cours terme. Il existe trois méthodes fondamentales pour planifier la production.

1.2.2.b.1 la méthode M.R.P.

La méthode M.R.P. est née en 1965 au Etats Unis. La première signification (Material Requirements Planning) est désigné actuellement par le signe MRP0. Elle correspond à une planification à moyen terme et ne tient pas en compte de la limite des ressources de production. Le calcul de MRP0 repose sur une décomposition hiérarchique des nomenclatures des produits. Il existe deux types de besoins:

- besoin indépendant: issue des ventes d'ensembles montés ou de pièces détachées (produit fini, pièce détachée). Ce besoin, externe à l'entreprise, est aléatoire.
- besoin dépendant: c'est un besoin nécessaire à la réalisation d'un besoin indépendant (matière première, composant acheté, sous-ensemble fabriqué). Ce besoin peut être déterminer d'une façon déterministe à partir des besoins indépendants.

En considérant le plan de production, les nomenclatures des produits et des délais d'obtention des produits on calcule les besoins des composants et les dates de lancement.

Si on considère l'état des stocks $S(i-1)$ à la fin de la période $i-1$, $OL(i)$ les en-cours (c'est à dire la prévision d'entrée des stocks à la période i) et le besoin brute $BB(i)$ alors on peut déterminer le besoin net $BN(i)$. La disponibilité prévisionnelle du stock $DPS(i)$ est:

$$DPS(i) = S(i-1) - S_s + OL(i)$$

avec S_s le stock de sécurité.

L'algorithme du calcul du besoin net est le suivant:

Si $DPS(i) \geq BB(i)$

Alors $BN(i) = 0$

$$S(i) = DPS(i) + S_s - BB(i)$$

Sinon $BN(i) = BB(i) - DPS(i)$

$$S(i) = S_s$$

Fin si

Connaissant le délai de fabrication ou d'approvisionnement des composants D la date de lancement d'achat ou de fabrication, est:

$$j = i - D$$

Les recherches pour améliorer MRP ont données lieu en 1971 à MRP1 qui prend en compte la capacité des moyens de production en utilisant des boucles fermées de validation. En MRP2 on intègre d'autres paramètres tel que financier et comptable.

1.2.2.b.2 la méthode " J.A.T " [Juste-A-Temps ou JIT. Just-In-Time]

Le succès de l'industrie japonaise est dû à plusieurs facteurs. L'un des principaux facteurs est l'utilisation de la méthode JAT [CHA2-89] pour planifier la production. Plus qu'une méthode, c'est une philosophie basée sur l'amélioration de la productivité et sur une gestion souple. Le but de cette méthode est d'éliminer le gaspillage d'argent, de main d'oeuvre et des moyens de production.

Le JAT est souvent utilisé avec la méthode KANBAN pour la gestion des flux dans les ateliers. Cette méthode s'applique uniquement dans les entreprises ayant une production répétitive et elle est moins performante s'il y a une irrégularité dans le temps ou en quantité. En effet, la JAT se montre difficile ou impossible à mettre en place dans le cas d'ateliers spécialisés caractérisés par la diversité des produits fabriqués à l'unité ou à petite série [ASH-91]. D'autre part, elle est valable pour une gestion à court terme et ne permet pas de déclencher des approvisionnements ou des productions quand le délai d'anticipation est trop grand. Plusieurs entreprises au USA ont installé la méthode JAT avec les cartes Kanban. L'implantation de celle-ci a montré qu'il faut prendre certaines précautions avant d'entreprendre cette action. Il faut que les temps de traitement soient constants pour éviter les stocks entre les postes de travail [CHO-87] [VIL-88].

1.2.2.b.3 La méthode OPT (Optimized Production Technology)

La gestion simultanée de toutes les contraintes dans un même plan de production est généralement difficilement réalisable. Pour résoudre cette problématique, la méthode OPT [GOL-86] cherche les machines qui présentent un goulot d'étranglement et, sans aborder le "pourquoi" du problème, elle tente de trouver comment le résoudre. La méthode OPT, proposée par Eliyahu M. Goldratt en 1979, fixe dix règles pour résoudre les problèmes des goulots d'étranglement:

- **règle n° 1:** Il faut équilibrer les flux de matières et non les capacités de fabrication.
- **règle n° 2:** Le niveau d'utilisation d'un goulot n'est pas déterminé par son propre potentiel mais par d'autres contraintes du système.
- **règle n° 3:** Utilisation et plein emploi d'une ressource ne sont pas synonymes.
- **règle n° 4:** Une heure perdue sur un goulot est une heure perdue pour tout le système.
- **règle n° 5:** Une heure gagnée sur un non-goulot n'est qu'un leurre.
- **règle n° 6:** Les niveaux déterminent à la fois le débit de sortie et les niveaux de stocks.
- **règle n° 7:** Souvent le lot de transfert ne doit pas être égal au lot de fabrication.
- **règle n° 8:** Les lots de fabrication doivent être variables et non fixes.
- **règle n° 9:** Il faut établir les programmes en prenant en compte toutes les contraintes simultanément.
- **règle n° 10:** La somme des optimums locaux n'est pas l'optimum du système global.

1.2.2.c. L'ordonnancement

L'ordonnancement correspond au niveau de planification à court-terme. Ordonnancer un ensemble de tâche, c'est programmer leur exécution en leur allouant les ressources requises et en fixant leurs dates de début. Les critères de choix d'une solution d'ordonnancement sont l'utilisation efficace des ressources, le délai global, la minimisation des en-cours et le respect des dates échues.

Pour modéliser un problème d'ordonnancement, on peut utiliser des équations mathématiques ou des graphes. L'apparitions des réseaux de Petri temporisés, on permet de modéliser et simuler avec un seul formalisme graphique les contraintes potentielles et les contraintes de ressources.

Les principales approches de résolutions du problème sont les suivantes:

- méthode par construction progressive: ce sont des méthodes itératives où à chaque itération, on complète une solution partielle. Dans le cas générale, cette méthode conduit à une solution approché.
- méthodes par voisinage: ces méthodes travaillent sur des solutions complètes. A chaque itération la méthode par voisinage a pour objectif de passer d'une solution complète à une solution complète meilleure relativement au critère considéré.
- méthode par décomposition dont:
 - la décomposition hiérarchique: décomposer le problème en plusieurs niveaux
 - la décomposition structurelle: utiliser la modélisation du problème en considérant tout d'abord que les moyens sont illimités pour résoudre le problème temporel; puis ajouter de nouvelles contraintes liées à l'utilisation des moyens
 - la décomposition de l'ensemble des solutions du problème: procédures par séparation et évaluation afin d'obtenir la solution optimale
 - la décomposition temporelle
 - la décomposition spatiale
- méthode par modélisation des contraintes: on change le modèle des problèmes que l'on veut résoudre. Ces méthodes, qui sont essentiellement des méthodes dites de relaxation, conduisent à des solutions, bien que non réalistes, elles fournissent des évaluation par défaut qui peuvent être intégrées à d'autres méthodes
- méthodes liées à l'intelligence artificielle: ce sont des méthodes qui utilisent des techniques de représentation des connaissances et de résolution de problèmes issues de l'intelligence artificielle.

Les approches les plus utilisées sont les approches d'analyse des contraintes (ORDO) mais en entreprise on utilise souvent les règles d'ordonnancement. Les règles d'ordonnancement peuvent être classées en trois catégories [MIC-91]:

1. **Les règles aléatoires:** ces règles ne prennent en compte ni les informations sur l'atelier, ni les informations sur les tâches à traiter. Les règles FCFS (First Come First Served) et LIFO (Last In First Out) sont des exemples de règles aléatoires,
2. **Les règles statistiques:** ces règles utilisent les informations statistiques sur les tâches ou sur l'atelier. Les règles SPT (Short Processing Time) et EDD (Earliest Due-Date), sont des exemples de règles statistiques. La méthode SPT consiste à ordonnancer les tâches suivant le plus court temps de traitement, alors que EDD ordonnance les tâches suivant la date de livraison.
3. **Les règles dynamiques:** ces règles exigent de mettre à jour, continuellement, les priorités des tâches en file d'attente, chaque fois que l'on doit sélectionner une tâche. Elles sont plus

difficiles à implanter et demandent un nombre important d'informations par rapport aux règles statistiques. Ces informations, comme, par exemple, la durée de production (durée nécessaire pour réaliser un produit) et la date de lancement, sont des paramètres très importants pour ordonnancer les tâches dans un atelier. En effet, ces informations ont des conséquences directes sur la date de livraison et sur la réduction des stocks. De plus, ils faut disposer des durées de traitement et de lancement de chaque tâche.

1.2.2.d. La gestion des stocks

Les stocks constituent un investissement coûteux. Une bonne gestion des stocks implique, avant tout, une intégration des décisions relatives à la fonction production et à d'autres fonctions.

Plusieurs modèles ont été élaborés en vue d'une définition d'une bonne politique de gestion [CHR-87].

a. modèle en avenir certain

Considérons les hypothèses suivantes:

- la demande Y totale sur la période de référence T est connue
- la demande par unité de temps est constante: la demande est continue et à taux constant, y
- pas de contrainte (ni sur les quantités et/ou dates de commande, ni sur la capacité de stockage, ni sur les possibilités de financement, etc.)
- les coûts sont constants: le coût de stockage, b, est exprimé en pourcentage de la valeur du stock moyen, par période, le coût de commande K est subi à chaque passation de commande, quelle que soit la taille. La valeur unitaire, a, du bien (prix d'achat ou coût de revient) est également constante
- on ne tolère aucune rupture de stock

Le modèle Wilson permet de répondre aux deux questions: quand commander? et combien commander? Sous ces hypothèses la quantité de commande qui minimise le coût total QEC (Quantité Economique de Commande) est: $QEC = [(2 K Y) / (b a)]^{1/2}$

La périodicité R de commande est alors: $R^* = T / (Y / QEC)$

Dans le cas d'avenir certain avec un taux de demande variable, on utilise la programmation dynamique pour trouver une solution optimale.

b. modèle en avenir aléatoire

Dans le cas d'un avenir aléatoire on distingue deux grands types de modèles:

- les modèles dans lesquels les décisions de réapprovisionnement sont prises en fonction du niveau du stock, ou modèles à point de commande. Dans ce cas on commande dès lors qu'un certain niveau de stock est atteint. Il faut donc définir les deux paramètres suivants: quantité de commande et le point de commande ou niveau-seuil du stock qui détermine la date de commande.
- les modèles dans lesquels les décisions de réapprovisionnement sont prises en fonction d'un certain calendrier. Dans ce cas deux paramètres définissent la gestion des stocks: la périodicité

de commande d'où découlent les dates de commande et le niveau de rétablissement, à partir duquel est calculée la quantité économique.

1.2.2.e. La supervision et le contrôle des opérations

La supervision permet de relier deux niveaux de la pyramide CIM: le niveau de gestion de production et le niveau de commande individuelle des machines et des processus. Elle a pour rôle [XAV-92]:

1. d'assurer la conduite du système de production
2. de faire face aux défaillances des systèmes automatisés
3. d'informer pour faire progresser les outils et les produits

La réussite du projet d'implantation d'un système de supervision, capable de répondre aux exigences citées précédemment est conditionnée par:

- une étude approfondie des objectifs réels de l'entreprise,
- une étude du mode d'organisation de la production: dans un atelier les opérations sont effectuées soit par des machines automatiques soit par des hommes. Il est important de définir qui de l'homme ou du système va prendre telle ou telle décision et de déterminer les conditions de sa réalisation,
- définir un cahier des charges mettant en évidence les besoins concrets, accessibles pour certains cas, à partir de produit standard de supervision, et pour d'autres cas en applications spécifiques,
- faire une étude détaillée des progiciels existants sur le marché.

1.2.2.f. Maintenance des équipements

L'investissement dans l'appareil de production représente une partie très importante de l'investissement total d'une entreprise. C'est pourquoi il est très utile de préserver les équipements, d'autant plus qu'ils sont souvent très coûteux.

1.2.2.g. Les modes de gestion des flux de production

On peut distinguer quatre modes de gestion de flux de production [MUL-93]:

1. **Gérer centralement:** fabrication suivant un plan de production avec un horizon de fabrication de plusieurs semaines ou plusieurs mois. Ce mode de gestion, à flux poussé, est utilisé autant pour une production en masse que pour une production de petite série. Il correspond aux systèmes M.R.P. classiques.
2. **Décentraliser et gérer par l'aval:** c'est un flux tiré utilisé par les Japonais. Ce mode de gestion, à l'aide des cartes kanban est valable pour une production en grande ou petite série répétitive dans le cas où la demande est régulière.
3. **Décentraliser et gérer par l'amont:** c'est le vrai flux poussé qui pourrait pallier aux défauts des systèmes M.R.P. classiques. Ce mode de gestion convient bien à une fabrication de petites séries.

4. **Gérer de façon synchrone:** c'est à dire avec un flux d'information synchronisé au flux de matière. C'est un cas limite du flux poussé. Ce mode convient bien à la fabrication de masse de produits différenciés mais dont la variabilité est limitée par les possibilités du système de production.

L'analyse des marchés permet d'imaginer que deux modes vont prendre une place importante dans le futur: le mode de gestion poussée et le mode de gestion synchrone, comme cas limite, particulièrement adapté à l'automatisation et à CIM, en remplacement des modes actuels, de gestion centralisée ou tirée par l'aval [MUL-93].

1.3. LA REACTION DES ENTREPRISES

Face aux contraintes du marché et à la complexité du système de production, la réaction des entreprises a été orientée en suivant plusieurs démarches.

1.3.1. UNE DEMARCHE PRODUCTIQUE

a. une démarche de productivité basée sur les techniques avancées: pour augmenter la capacité de son système de production, l'entreprise a adopté une démarche productique basée sur un ensemble de techniques avancées, qui peuvent être résumées comme suit:

- automatisation
- robotisation
- informatisation

b. productivité globale: cette démarche inclut, d'une part, les méthodes et les méthodologies de travail (organisation, innovation, analyse de la valeur, qualité, ...) et d'autre part, des systèmes de gestion assistés par les aides informatiques pour assurer le bon fonctionnement de la production (production intégrée par ordinateur, ...).

1.3.2. UNE DEMARCHE DE PRO-ACTIVITE ET DE REACTIVITE

Cette démarche correspond à une approche de l'entreprise permettant de répondre rapidement aux demandes des clients. L'entreprise doit tout d'abord, anticiper l'évolution de son environnement, puis elle doit étudier et industrialiser rapidement un nouveau produit [AZO-94]. Deux aspects différents de cette démarche peuvent être cités:

1. **Pro-activité:** c'est la capacité de l'entreprise à anticiper l'évolution de son environnement. Elle est fondée sur les techniques de marketing.
2. **Réactivité:** c'est la capacité d'une entreprise à répondre à une demande fluctuante, en nature et en qualité, de produits variés et personnalisés, dans des délais respectés et de plus en plus courts.

1.3.3. UNE DEMARCHE DE FLEXIBILITE

Le terme de flexibilité est utilisé de nos jours de façon abusive, ce qui concourt à rendre sa signification encore plus floue. Une première définition consiste à considérer la flexibilité comme

étant la capacité de répondre à une demande fluctuante. La notion de flexibilité regroupe un ensemble de qualités recherchées tant dans les machines que dans le système de production global.

1.3.4. UNE DEMARCHE D'INTEGRATION

Pour que l'entreprise puisse répondre aux exigences actuelles du marché, il faut qu'elle se donne les moyens pour maîtriser ses flux financiers, informationnels et physiques. L'intégration comme, concept visant à mettre en oeuvre les moyens de communication et d'informatique pour cordonner l'ensemble des activités de l'entreprise, est l'une des réponses technologiques clés durant les années quatre-vingt-dix. En effet, si les années quatre-vingts étaient celles de la flexibilité, les années quatre-vingt-dix seront celles de l'intégration. Cependant, les entreprises ont du mal à s'engager vers une intégration des différentes fonctions de production. Quant à la réalisation d'une intégration des outils technologiques et gestionnaires, on s'aperçoit qu'elle est rarement réussie.

Dans le cas d'une démarche CIM, la nécessité d'intégration doit pouvoir s'appuyer sur une vision générale utilisant des méthodes éprouvées. Devant la complexité, la spécification et l'étendue des problèmes rencontrés lors d'une intégration, les recherches se sont orientées essentiellement vers les aspects méthodologiques. Ainsi, nous avons pu assister depuis plusieurs années à un foisonnement de méthodes couvrant les différentes étapes d'un projet d'intégration (SADT [Structured Analysis and Design Technics], GRAI [Graphes à Résultats et Activités Interreliés], MERISE [méthode de conception et de réalisation des systèmes d'information] ...). Cependant, on constate que le morcellement des outils supports de ces modèles génère une certaine lourdeur et des difficultés lors du passage de l'un à l'autre.

1.4. MODELISATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION

Le paragraphe précédent nous a permis de mettre en évidence les axes de développement que l'entreprise s'efforce de suivre afin d'assurer sa pérennité dans un marché en pleine mutation. Pour y parvenir, l'entreprise doit d'abord analyser sa situation actuelle, c'est-à-dire, son existant. Ce diagnostic est une étape nécessaire avant toute réflexion sur la solution d'un problème industriel. L'entreprise doit donc disposer des méthodes et outils lui permettant d'une part le diagnostic de sa situation, et d'autre part, la communication entre les différents acteurs impliqués, d'où l'intérêt de la modélisation comme étape souvent incontournable pour étudier un système de production. L'emploi des modèles permet d'une part, de comprendre le système et d'autre part, de communiquer les réflexions et les décisions prises. En effet, les modèles graphiques permettent de pallier certains inconvénients du langage naturel, car plus lisibles et plus faciles à comprendre qu'un rapport rédigé de façon classique.

1.4.1. CARACTERISTIQUES DES MODELES D'UN SYSTEME DE PRODUCTION

La modélisation est une étape nécessaire dans toute étude de gestion de production. En effet, pour contrôler, simuler ou superviser une production il est important de définir un modèle qui permet d'une part, de limiter le champ d'étude et d'autre part, de faciliter son approche. L'approche mathématique, ou une approche similaire, permet de modéliser une vision étroite du système de

production, restreinte par exemple à la planification et à l'ordonnancement. Mais le marché actuel impose aux dirigeants des entreprises une vision globale où les méthodes mathématiques se trouvent impuissantes face à la complexité de la production.

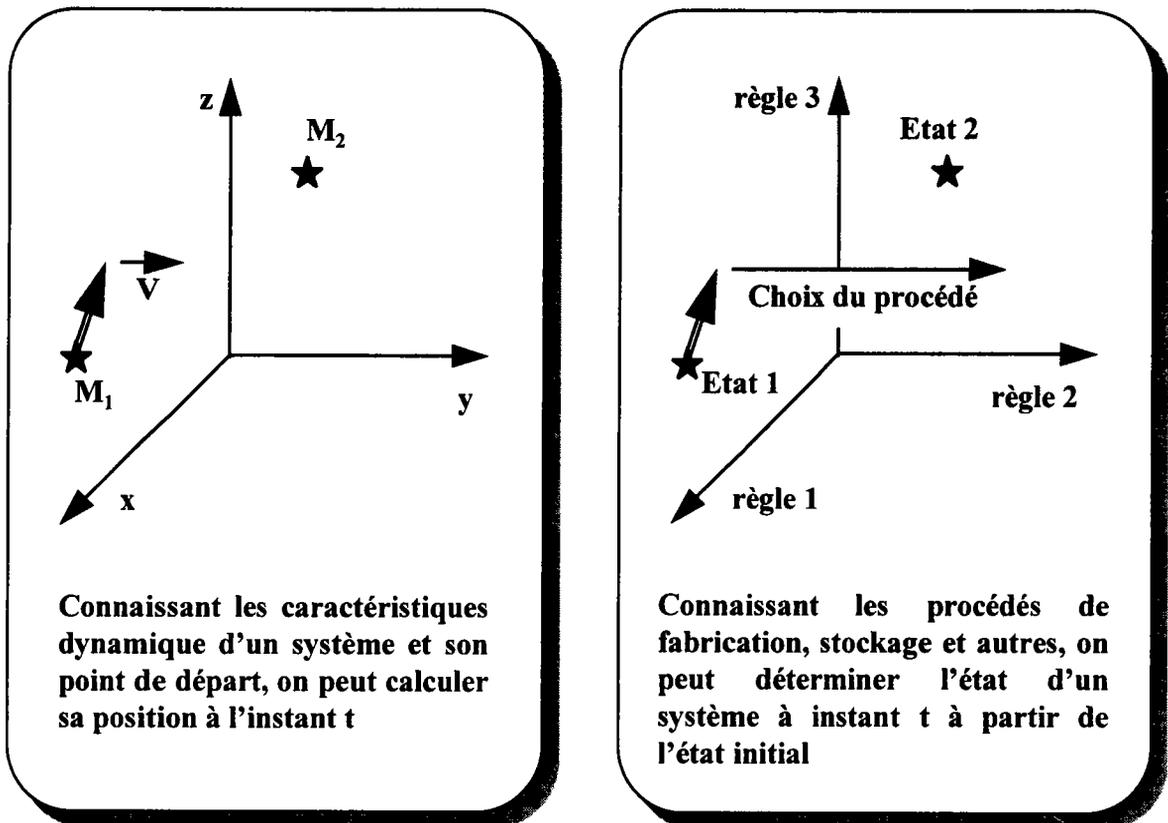


Fig. 4: Analogie entre la mécanique et la gestion de production

Pour comprendre la complexité du système de production, on peut faire une analogie entre le comportement dynamique de la production et la mécanique. La formulation du principe de Laplace, permet de dire par analogie pour un système de production [MAS-94]: " En connaissant la position, l'état et le procédé de fabrication de chaque produit dans un système de production, il est alors possible de déterminer avec précision la position et l'état de ce système dans le futur ainsi que son mode d'évolution" (figure 4).

Or, si on considère des systèmes de production multi-produits et multi-procédés, impliquant des centaines d'opérations et de références, nous ne pouvons calculer et prédire un événement précis à un instant futur. L'analogie avec le principe d'incertitude de HEISENBERG permet de conclure qu'il est impossible de déterminer, avec une grande précision, le comportement dynamique d'un système de production [MAS-94].

$$\Delta x \Delta v = h$$

Avec: Δx incertitude sur la position ou incertitude sur l'état du système
 Δv incertitude sur la vitesse ou incertitude sur les procédés
 h constante de Planck ou un paramètre équivalent en production

L'incertitude sur les procédés de fabrication est due à la complexité du système de production. En effet, on peut définir, dans le cas d'un système de production, trois types de complexité [MAS-94]:

1. **complexité structurelle:** elle correspond aux problèmes de synchronisation, d'ordonnancement et d'organisation de la production. L'assemblage, par exemple, d'un produit composé d'une centaine de pièces pose de véritable problème d'équilibrage des flux, de gestion des stocks d'en-cours et de synchronisation entre les chaînes de fabrication.
2. **complexité intrinsèque:** elle correspond aux mauvaises conditions lors de la réalisation d'un modèle. En effet, les données sont souvent incomplètes, partielles et la stratégie de production n'est pas définie avec exactitude. Par exemple, dans la plupart des entreprises, le service de planification définit un plan de production qui est souvent réalisé dans des conditions différentes de celles prévues. Ce décalage est dû au manque de données lors de la préparation du plan de production.
3. **complexité dynamique:** le système de production possède une grande variété d'états différents (exemple: si on a n produits et p machines, le nombre d'états possibles est très important). Il est donc très difficile de suivre l'évolution d'un système de production et modéliser son comportement dynamique.

Prendre en compte cette complexité du système de production implique une remise en cause des différentes méthodes de gestion et de pilotage de la production. En effet, il est difficile de prédire et contrôler un système de production en agissant de l'extérieur. C'est pourquoi il faut développer des méthodes de gestion permettant au système de production de s'auto-réguler pour s'adapter à des situations nouvelles. C'est le cas du flux tiré où l'arrivée d'une commande (événement nouveau) déclenchera automatiquement un certain nombre d'ordres de fabrication de l'aval vers l'amont à l'aide des cartes Kanban.

1.4.2. LES APPROCHES DE MODELISATION EXISTANTES D'UN SYSTEME DE PRODUCTION

1.4.2.a. Approche hiérarchique

Un système de production peut être décomposé en trois parties:

1. **la partie physique:** ensemble des ressources humaines et matérielles,
2. **la partie information:** ensemble des flux d'information circulant dans un système de production,
3. **la partie décision:** ensemble des règles, des procédés de fabrication et des mécanismes de prise des décisions.

Il est pratiquement impossible, à l'heure actuelle, de prendre en compte toutes les données et les informations d'un système de production pour prendre une décision. Ceci est dû à la complexité du système de production. C'est pourquoi, on admet le caractère hiérarchique de la gestion dans une entreprise. Ainsi, l'approche hiérarchique définit trois niveaux décisionnels [ANT-65] [ANT-88]:

- **le niveau supérieur** définit les décisions stratégiques à long terme,

- **le niveau milieu** définit les décisions tactiques à moyen terme,
- **le niveau inférieur** définit les décisions opérationnelles à court terme.

Le niveau supérieur impose ses décisions au niveau inférieur. Celui-ci évalue les conséquences de ces décisions et par une boucle de retour, transmet un compte rendu. Le flux d'information est différent d'un niveau à l'autre. Au niveau opérationnel (inférieur) le nombre d'informations traitées est très important, alors qu'au niveau supérieur seules les informations ayant une conséquence sur la planification à long terme sont prises en compte [LIB-87].

1.4.2.b. Approche orientée objet

L'approche orientée objet a été introduite dans les langages de programmation avec pour objectif principal de réunir en une même unité ou "capsule" les caractéristiques statiques et dynamiques des objets manipulés dans ces langages. Les concepts orientés objet ont par la suite été adaptés à un niveau d'abstraction supérieur pour gérer des données plus complexes, d'où l'avènement des systèmes de gestion de bases de données orientées objet.

Le paradigme objet permet d'atteindre les objectifs suivants [CAU-91]:

- **l'intégration structure / comportement** est l'un des éléments essentiels du paradigme objet. Ceci peut conduire, au niveau conceptuel, à faire apparaître des objets dont l'identification résulte des opérations qu'ils subissent et pas seulement des propriétés qui les caractérisent.
- **la description des objets complexes** est devenue nécessaire pour faire face aux nouveaux types d'applications. Ainsi, on utilise des mécanismes de construction d'objets complexes tels que l'agrégation ou le regroupement qui permettent d'effectuer une décomposition des objets guidée par leur sémantique.
- **l'utilisation de la généralisation / spécialisation** permet un raisonnement à différents niveaux d'abstraction en facilitant la spécification pour la rendre modulaire. Il est nécessaire, dans le contexte d'une intégration structure/comportement, d'étendre le mécanisme d'héritage (arbre père-fils) aux propriétés de comportement d'un objet.

1.4.2.c. Approche systémique

Le récent constat du Bureau des Sciences et Technologies Informatiques du Comité National de la Recherche des Etats Unis indique que les chercheurs en génie logiciel ont été incapables de fournir la moindre aide aux praticiens en ce qui concerne la définition des systèmes et l'implantation concomitante de leurs composants fonctionnels. Ceci est dû au raisonnement reposant sur le cartésiano-positivisme qui a abouti à la modélisation analytique [LEM-94]. En effet, la plupart des méthodes se réduisent à une décomposition du système en éléments simples. Ces méthodes analytiques, qui sont réputées fournir le meilleur ensemble possible, supposent, en réalité, que les interactions entre les éléments du système analysé sont négligeables [BLA-94]. D'où l'avènement de l'approche systémique qui s'intéresse, plutôt aux liaisons et interactions qu'aux éléments. En effet, elle permet de percevoir et de comprendre un système dans sa complexité en se référant à ses

objectifs. D'autre part, elle étudie le comportement dynamique d'un système dans son environnement [MIN-82]. Ainsi, l'approche systémique s'oppose à l'approche analytique en ce sens que la première étudie les interrelations et la finalité du système, alors que la seconde repose sur une décomposition en éléments et sur une référence préétablie.

Le paradigme systémique est basé sur trois hypothèses fondamentales suivantes [LEM 94]:

- **hypothèse théologique** où l'objet à modéliser est supposé doter d'au moins un projet identifiable (exemple: le projet d'un système de production est de répondre à une demande en optimisant le coût de production),
- **hypothèse d'ouverture sur l'environnement** où l'objet à modéliser doit être présenté dans son environnement même s'il n'est pas descriptible de façon exhaustive (étude des besoins des clients, l'évolution du marché, la concurrence, les fournisseurs...),
- **hypothèse structuraliste** où l'objet à modéliser doit être décrit dans sa totalité, fonctionnant et évoluant (étude de tous les services d'un système de production, suivie de la fabrication...).
- L'entreprise est un objet complexe, actif et organisé. La modélisation systémique propose une approche progressive permettant, d'une part, de comprendre l'interaction de l'entreprise avec son environnement et, d'autre part, de mettre en évidence les différents sous-systèmes de l'entreprise. L'approche systémique définit trois sous-systèmes de l'entreprise:
- **Système Opérant (SO)**: il permet de transformer les flux de matières (machines opérateurs, outils...).
- **Système de Pilotage (SP)**: Il assure le pilotage, la régulation de l'entreprise en fonction des objectifs. De plus, il permet l'adaptation de l'entreprise à son environnement (direction, planification, ordonnancement, gestion des stocks...).
- **Système d'Information (SI)**: il permet la mémorisation des comportements de l'entreprise. On distingue:
 - **Système d'Information Organisationnel (SIO)** qui exprime l'activité d'organisation associée au fonctionnement des systèmes d'information et définit les flux d'informations.
 - **Système d'Information Informatisé (SII)** qui concerne le contenu informatisé (logiciel, fichiers, bases de données...).

Deux axes principaux de recherche, permettent d'apporter un nouveau souffle à la conception des systèmes d'information:

1. l'approche systémique du système d'information,
2. la modélisation des données indépendamment de leurs utilisations dans les traitements.

Notons que, dans le modèle PFA proposé dans ce rapport, nous nous sommes efforcés d'axer notre recherche en suivant ces deux axes.

1.4.3. LES OUTILS DE MODELISATION

L'intérêt porté à la modélisation, pour résoudre les problèmes d'organisation des entreprises, a permis un développement de plusieurs outils de modélisation. Cependant, il semble que la conception de ces outils ne prend pas en compte la notion d'intégration. Chaque outil permet de modéliser un aspect du système de production sans se préoccuper des autres aspects. Ainsi:

- GRAI permet de modéliser la partie décisionnelle
- SADT permet d'étudier la partie fonctionnelle
- MERISE permet de modéliser la partie informationnelle
- GRAFCET permet de modéliser la partie physique
- Les réseaux de PETRI permettent de modéliser l'aspect dynamique.

1.4.4. LES CONCEPTS CIM ET CIM-OSA

L'entreprise est un ensemble de sous-systèmes de traitement, de communication et d'information formant une organisation distribuée et dynamique. Cette organisation est nécessaire pour que l'entreprise s'adapte à la constante mutation de son environnement économique.

Pour comprendre cette organisation, il est nécessaire de trouver des approches regroupant concepts, méthodes, outils et techniques. Cette approche doit être globale et passe par une intégration des différentes techniques informatisées dans la production. Le concept CIM (Computer Integrated Manufacturing) répond non seulement aux soucis d'intégration des techniques dans la production, mais propose une intégration étendue à toute l'entreprise. En effet, la pyramide CIM définit une intégration verticale de six niveaux dans l'entreprise correspondant aux différents niveaux d'abstraction (figure 5). Ces niveaux sont:

- **Niveau 0**: le plus élémentaire, il comprend les machines,
- **Niveau 1**: cellules intégrant un certain nombre de machines ou robots,
- **Niveau 2**: supervision d'un atelier entier (montage, fabrication),
- **Niveau 3**: intégration complète de l'atelier et optimisation de la production (gestion de production),
- **Niveau 4 et 5**: intégration de l'entreprise entière et, dans le cas du niveau 5, intégration des implantations multisites.

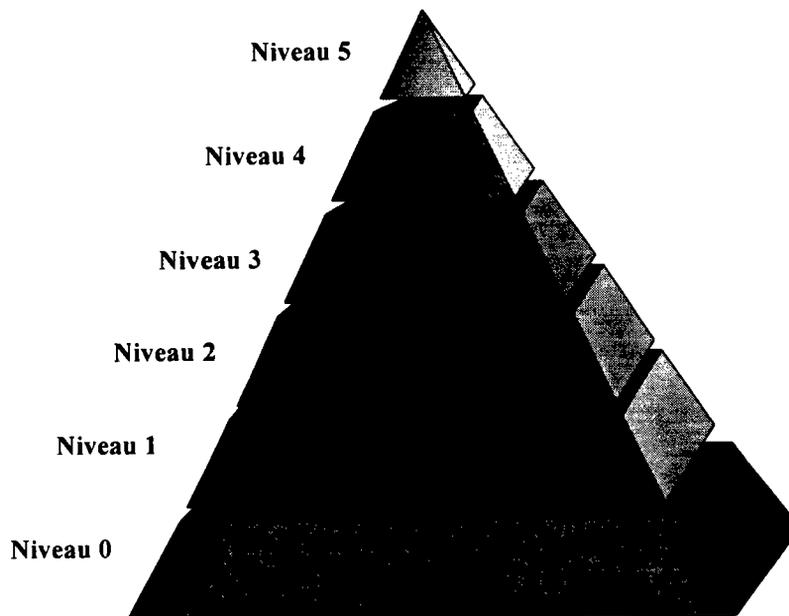


Fig. 5 La pyramide CIM

Cependant, à cause de l'évolution technologique continue et des changements rapides de la demande, l'architecture productive des systèmes est constamment remise en cause. Pour définir des normes et références en matière d'architecture de système de production, l'AMICE (European Computer Integrated Manufacturing Architecture) a défini le concept CIM-OSA (CIM Open System Architecture) dans le cadre du programme ESPRIT (projet 688).

Tout modèle de l'entreprise s'inscrit soit dans une démarche générique, c'est à dire applicable à tout type d'entreprise, soit dans une démarche partielle correspondant à un type d'entreprise ou alors dans une optique particulière visant à modéliser une entreprise précise. D'autre part, la modélisation comprend trois étapes correspondantes, d'abord, à la définition des besoins de l'entreprise, puis à la spécification du fonctionnement de celle-ci et, enfin, à la description de la réalisation du modèle proposé. De plus, la modélisation prend en compte les vues fonctionnelle, informationnelle, ressources ou organisationnelle. Le but de CIM-OSA est de définir une architecture standard du système de production, présentée sous forme d'un cube composé de trente-six cubes élémentaires, en suivant trois axes (figure 6):

1. **L'axe de modélisation** comprend trois parties:
 - 1.1. **modèle d'expression de besoins:** prise en compte des différents besoins de l'entreprise et des points de vue de l'utilisateur,
 - 1.2. **modèle de spécification fonctionnelle:** prise en compte des contraintes de l'entreprise et du point de vue du concepteur,
 - 1.3. **modèle descriptif de réalisation:** correspond à un modèle exécutable permettant le contrôle d'un système et son interface avec l'environnement.
2. **L'axe générique** comprend:
 - 2.1. **le modèle générique:** définit un ensemble de composants élémentaires de l'entreprise,
 - 2.2. **le modèle particulier:** bloc particulier spécifique d'une partie de l'entreprise,
 - 2.3. **le modèle partiel:** niveau intermédiaire entre les deux niveaux précédents.

3. **L'axe de vue** comprend:

- 3.1. **la vue fonctionnelle:** décrit la fonctionnalité et le comportement de l'entreprise,
- 3.2. **la vue informationnelle:** décrit le système d'information de l'entreprise,
- 3.3. **la vue ressource:** décrit les ressources utilisées et leur gestion,
- 3.4. **la vue organisationnelle:** décrit les responsabilités et les autorités sur les fonctions, les informations et les ressources.

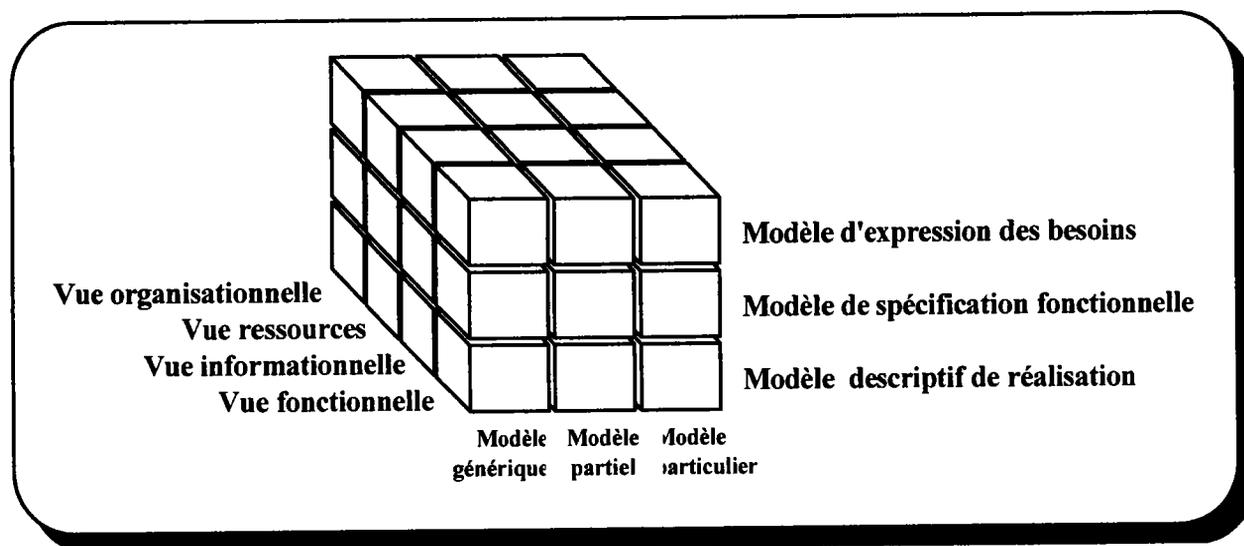


Fig. 6 Le cube CIM-OSA

1.5. CONCLUSION

Un système de production doit être placé dans son environnement. En effet, l'étude de l'influence du marché sur le système de production permet de déterminer les contraintes extérieures à l'entreprise (§1.2.1). De plus, l'analyse des interactions entre les différents services de l'entreprise et le système de production met en évidence la complexité du choix du mode de gestion de ce dernier cohérente avec les objectifs globaux de l'entreprise (§1.2.2).

Le système de production comporte un nombre important de fonctions telles que la conception, la planification, l'ordonnancement ou la fabrication par exemple. Chaque fonction utilise ses propres outils et méthodes souvent incompatibles les uns avec les autres.

Face à ces contraintes la réaction des entreprises a suivi cinq axes principaux (§1.3). D'abord, elle se sont engagées dans une démarche productive pour augmenter leur capacité de production. Le deuxième axe correspond à une démarche de pro-activité et de réactivité et permet de répondre aux demandes des clients suivant les attentes spécifiques à chacun d'eux. Pour répondre à une demande fluctuante et respecter les délais, les entreprises ont introduit une démarche de flexibilité. Le besoin de cohérence quant à la prise des décisions impose aux entreprises de s'orienter vers la conception de systèmes intégrés de production.

La manière dont on conduit l'analyse d'un système industriel conditionne le succès des solutions mises en place pour résoudre les problèmes posés. Cependant ces approches sont souvent d'une part, soit trop générales ou trop spécifiques, et d'autre part, elles ne permettent pas une intégration des outils existants dans l'atelier du génie logiciel. En effet, la multitude des outils (SADT, GRAI,

RESEAUX DE PETRI...) et des méthodes existantes introduit une nouvelle complexité correspondant à l'incohérence entre eux et aux difficultés de passer d'un modèle à un autre. En effet, on s'aperçoit que chaque laboratoire de recherche est spécialisé dans une méthode de modélisation qu'il va utiliser systématiquement lors d'un projet avec une entreprise. Ceci va biaiser la modélisation car les problèmes et donc les attentes des entreprises, vis à vis d'un laboratoire de recherche, ne sont pas toujours similaires.

L'objet du chapitre suivant est de palier aux défauts des outils de modélisation existants en proposant une nouvelle approche permettant de réaliser un modèle intégré du système de production.

2

UNE NOUVELLE APPROCHE POUR LA MODELISATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION

Le chapitre précédent nous a permis de mettre en évidence les axes de développement que l'entreprise s'efforce de suivre afin d'assurer sa pérennité dans un marché en pleine mutation. Pour y parvenir, l'entreprise doit d'abord analyser sa situation actuelle, c'est-à-dire, son existant. Ce diagnostic est une étape nécessaire avant toute réflexion sur la solution d'un problème industriel. L'entreprise doit donc disposer des méthodes et outils lui permettant d'une part le diagnostic de sa situation, et d'autre part, la communication entre les différents acteurs impliqués, d'où l'intérêt de la modélisation comme étape souvent incontournable pour étudier un système de production. D'autre part, nous avons présenté, dans le chapitre précédent, les principales approches de modélisation existantes telles que l'approche hiérarchique, l'approche orientée objet ou l'approche systémique. Cependant ces approches sont souvent d'une part, soit trop générales ou trop spécifiques, et d'autre part, elles ne permettent pas une intégration des outils existants dans l'atelier du génie logiciel. En effet, la multitude des outils (SADT, GRAI, RESEAUX DE PETRI...) et des méthodes existantes introduit une nouvelle complexité correspondant à l'incohérence entre eux et aux difficultés de passer d'un modèle à un autre.

D'où la nécessité de présenter une démarche globale qui permet, d'abord, de modéliser tous les aspects du système de production, puis d'intégrer les différents outils de modélisation, d'analyse et de gestion existants.

Ce chapitre présente une nouvelle approche, appelée Processus-Fonctions-Acteurs (PFA), de modélisation du système de production. Celle-ci permet, en s'appuyant sur le concept CIM-OSA, de développer un modèle permettant une vue assez globale du système de production en tenant compte des aspects fonctionnel, informationnel, ressource et organisationnel. De plus, ce chapitre présente une méthodologie de modélisation permettant de parcourir un certain nombre de cubes de CIM-OSA. Ainsi, partant d'un modèle global d'expression des besoins où l'entreprise s'interroge sur les contraintes et les objectifs du système de production, on définit un modèle de réalisation qui indique à l'entreprise un plan d'action permettant de gérer au mieux son système de production.

2.1. DEFINITION DU MODELE GENERAL

Les approches présentées dans le chapitre précédent (approche hiérarchique, approche orientée objet et approche systémique), sont très utiles pour modéliser un système de production. Cependant, elles ne traitent qu'un aspect de la production et ne peuvent servir d'outils de modélisation décrivant le système dans son ensemble du niveau supérieur au niveau inférieur. Or le marché actuel impose au gestionnaire une vue globale de l'entreprise et une intégration de ses différentes fonctions pour la prise de décision.

C'est pour ces différentes raisons que nous avons développé une nouvelle méthode de modélisation du système de production réunissant les trois approches citées précédemment (approche hiérarchique, approche orientée objet et approche systémique). La figure 7 montre les différentes étapes de cette méthode. S'inspirant de la théorie des systèmes et de la systémique, on décompose un système de production en deux entités: processus et acteurs. L'approche hiérarchique nous permet de modéliser le processus de production en utilisant un outil approprié appelé SADT. Les acteurs de production seront modélisés par une approche orientée objet. Enfin, l'originalité de ce travail est l'introduction d'une troisième entité, appelée fonction, dont l'objectif est de superviser les relations entre les processus et les acteurs de production.

Toute élaboration d'un modèle s'inscrit, suivant le concept CIM-OSA, dans un repère dont les trois axes sont l'axe de modélisation, l'axe générique et l'axe de vue. Du point de vue CIM-OSA (Computer Integrated Manufacturing - Open System Architecture) [BAR-92], le modèle présenté, appelé PFA, est un modèle générique en six phases (figure 8):

1. **Première phase de modélisation:** modèle d'expression des besoins suivant une vue fonctionnelle définit les contraintes et les besoins d'un système de production.
2. **Deuxième phase de modélisation:** modèle de spécification fonctionnelle suivant une vue fonctionnelle définit le fonctionnement du système de production.
3. **Troisième phase de modélisation:** modèle de spécification fonctionnelle suivant une vue informationnelle définit le fonctionnement du système d'information dans un système de production.
4. **Quatrième phase de modélisation:** modèle de spécification fonctionnelle suivant une vue ressource détermine le fonctionnement des ressources existantes dans un système de production.
5. **Cinquième phase de modélisation:** modèle de spécification fonctionnelle suivant une vue organisationnelle détermine la manière de gérer un système de production.
6. **Sixième phase de modélisation:** modèle descriptif de réalisation définit la phase finale d'un projet, le contrôle d'un système de production et son interface avec son environnement.

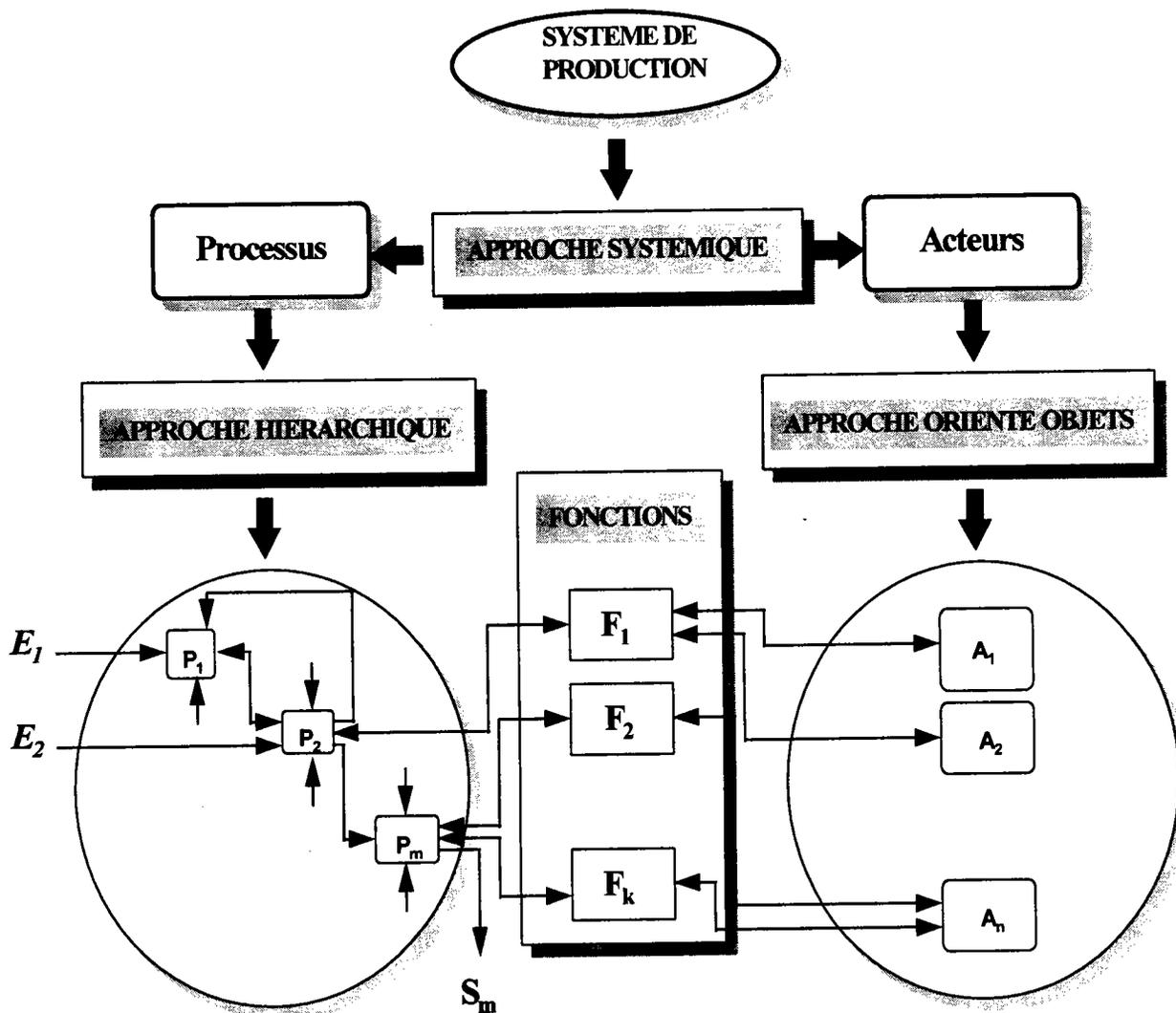


Fig. 7 Modélisation globale du système de production modèle Processus-Fonctions-Acteurs (PFA) [BEL-94]

E_i : Entrée d'information en provenance d'autres services de l'entreprise dans le processus P_i
 S_i : Sortie d'information du processus P_i vers d'autres services de l'entreprise
 P_i : Processus numéro "i". F_i : Fonction numéro "i". A_i : Acteur numéro "i"

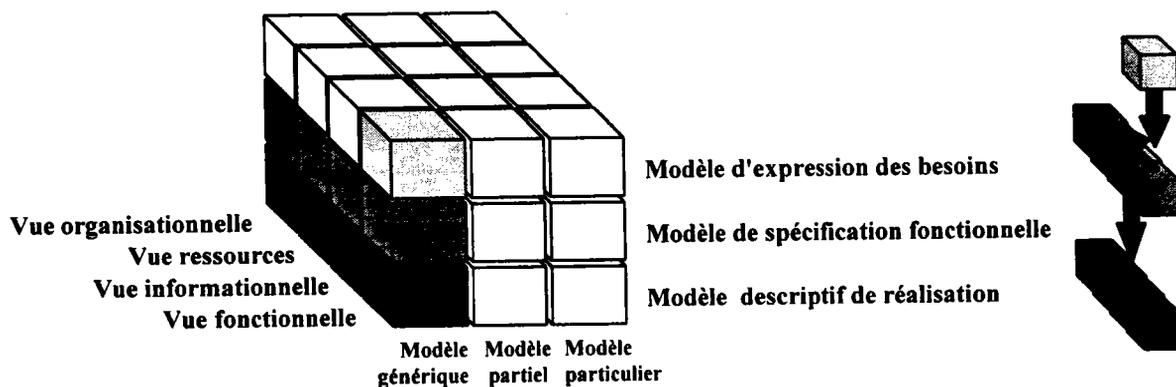


Fig. 8 Relation entre l'approche proposée et CIM-OSA

2.2. PREMIERE PHASE DE MODELISATION: modèle d'expression des besoins et vue fonctionnelle

La première phase de tout projet doit d'abord passer par une description complète de toutes les contraintes exercées sur le système et une précision des objectifs visés. Le modèle d'expression des besoins prend en compte les différents besoins de l'entreprise et reprend en compte le point de vue de l'utilisateur (figure 9).

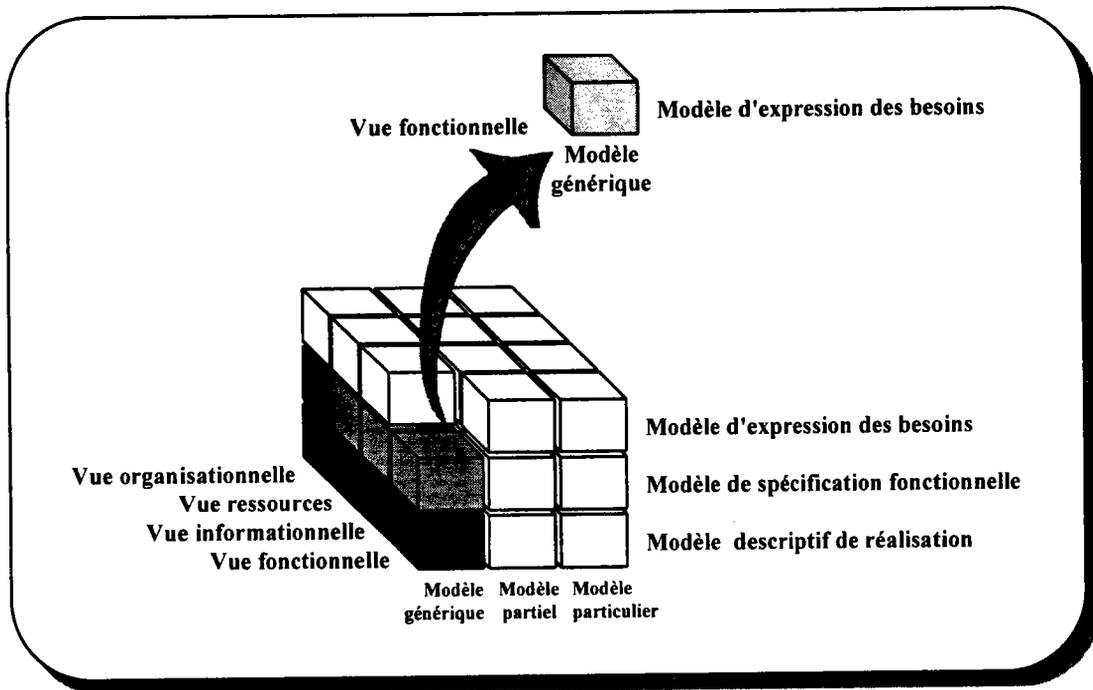


Fig. 9 Phase " 1 " de la modélisation

La vue fonctionnelle du modèle d'expression des besoins permet de définir les entités suivantes:

- établir les domaines: ce sont les sous-ensembles disjoints de l'entreprise réalisant des fonctions en terme de processus (direction, production, marketing...),
- déterminer le processus maître: pour chaque domaine il faut définir le processus maître qui permet de réaliser l'objectif principal (exemple: le processus maître de la production est la fabrication, et les processus secondaires sont la gestion des stocks, la gestion des équipements...),
- faire une analyse opérationnelle: définir pour chaque domaine les activités réalisées (exemple: en production les activités réalisées sont la conception, la planification, la fabrication, la gestion des stocks...),
- faire une analyse comportementale: définir les événements et les règles de procédure de chaque domaine (exemple: la règle en production est l'optimisation des coûts, la flexibilité de la fabrication, les respects des délais...).

L'approche systémique permet de répondre à ces points. En effet, la systémique étudie l'interaction d'un système avec son environnement par rapport à des objectifs déterminés. Ceci permet d'identifier les objectifs du système et les contraintes de l'environnement sur celui-ci. D'autre part,

la systémique permet de définir la frontière du système et la frontière de chaque élément inclus dans le système. L'ensemble de ces informations permet de déterminer le processus maître et ces caractéristiques, ainsi que l'analyse opérationnelle et comportementale.

2.2.1. Application de l'approche systémique

Comme indiqué au §1.4.2.c, l'approche systémique définit deux types d'objets: les objets processeurs et les objets processés. Ceci nous permet de distinguer, dans le cas d'un système de production, deux entités différentes:

1. **les acteurs physiques** qui participent à la production (objets processés: opérateurs, produits, machines...),
2. **les processus logiques** qui gèrent la production (objets processeurs: processus de planification, processus de gestion des stocks...).

Les acteurs sont toutes les ressources matérielles et humaines impliquées dans la production. Ils suivent un processus prédéterminé et n'ont aucun pouvoir de décision. Leur rôle est de réaliser les transformations nécessaires de la matière première en produit fini. Les processus de production représentent les mécanismes logiques de conception, de prise de décision et de gestion de production. Ils traitent d'une part les informations provenant de l'extérieur du système de production, et d'autre part les informations concernant les acteurs de production. Ce traitement permet une prise de décision pour changer l'état des acteurs de production et d'apporter des informations nécessaires à d'autres services de l'entreprise. La figure 10 montre un modèle global du système de production utilisant le concept processus/acteurs.

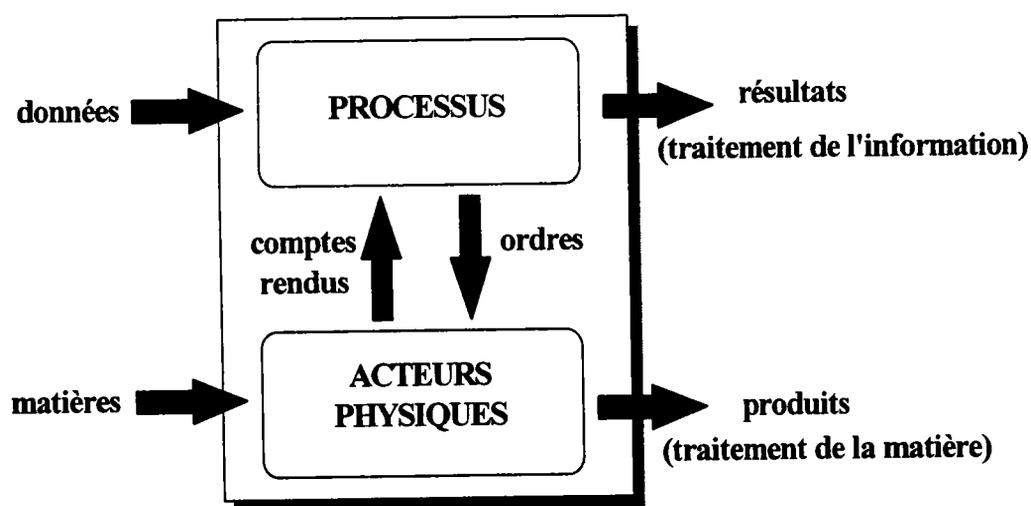


Fig. 10 Modélisation du système de production par le concept Processus-Acteurs

2.2.3. Exemple

La vue fonctionnelle du modèle d'expression des besoins permet de déterminer les différents services de l'entreprise comme le service de planification, le service financier ou autres. Le service

de planification est donc un des domaines de l'entreprise. L'application de l'approche systémique permet d'identifier son interaction avec les autres services de l'entreprise.

Domaine

- Nom: service de planification
- Description: service de planification de la fabrication à moyen terme
- Objectifs: répondre à un carnet de commande en optimisant la production
- Contraintes: demandes variables, capacité de production finie...
- Processus-maître: planifier
- Frontière du domaine: place du service de la planification dans l'entreprise.

Processus-maître

- Nom: planifier
- Objectif: répondre à un carnet de commande
- Contraintes: demande variable
- Règles déclaratives: optimiser la production, respecter la stratégie globale de l'entreprise
- Aptitudes exigées: répondre à la demande

Fonctionnalités:

- Aptitude requise: planifier à moyen terme
- Entré fonctionnelle: carnet de commande
- Entrée contrôle: état d'avancement de la fabrication
- Entrées ressources: état des ressources (disponibles, en panne, en cours d'acquisition...)
- Sortie fonctionnelle: plan de fabrication
- Sortie contrôle: résultats d'évaluation en matière de respect des délais
- Sortie ressource: plan de planification des ressources

Analyse comportementale

- Comportement
- Événement 1: début de la période de planification
- Règles de procédure: appliquer une méthode de planification (MRP, JAT, OPT...)
- Statut final: plan de planification
- Événement 2: arrivée d'une commande urgente
- Règles de procédure: replanifier
- Statut final: nouveau plan de production.

2.3. DEUXIEME PHASE DE MODELISATION: modèle de spécification fonctionnelle et vue fonctionnelle

Le modèle de spécification fonctionnelle prend en compte les contraintes de l'entreprise et reprend le point de vue concepteur (figure 11).

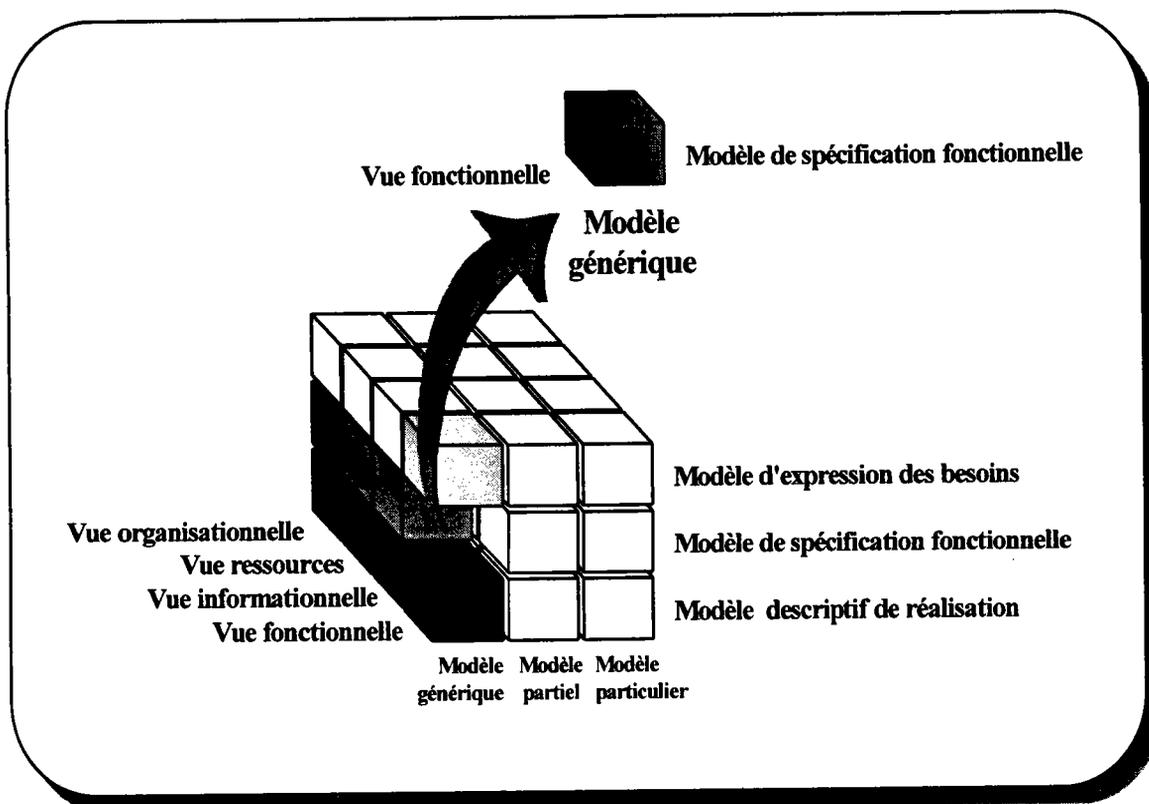


Fig. 11 Phase " 2 " de la modélisation

Nous utiliserons l'approche hiérarchique et l'outil SADT (annexe 1) pour décomposer le processus de production en plusieurs sous-processus. Ceci nous permettra d'avoir un modèle de spécification fonctionnelle mettant en évidence l'interaction entre les différents sous-processus. Une approche appelée l'approche acteur nous permettra d'élaborer un modèle de spécification fonctionnelle des acteurs.

2.3.1. Décomposition du processus de production par l'approche hiérarchique

Les processus de production comportent toutes les étapes de traitement de l'information et de prise de décision. La conception d'un produit, la planification et l'ordonnancement sont des exemples de processus. L'ensemble de ces processus forme un système très complexe difficile à modéliser. Sa décomposition en sous processus à l'aide de l'approche hiérarchique le rend plus facile à appréhender. Des outils tels que la méthode SADT permettent de mieux comprendre et mieux structurer son fonctionnement. Des méthodes complémentaires, comme le GRAFCET, les réseaux de Petri ou GRAI, sont utilisées pour modéliser le système d'une manière opérationnelle (annexe 1). La figure 12 montre un schéma de décomposition du processus de production en plusieurs sous processus participant aux traitements d'informations et aux prises des décisions. Cette décomposition a pour intérêt de mettre en évidence, d'une part, le flux d'information entre les différents processus, et d'autre part, de déterminer les informations sortant du système de production et les décisions à transmettre aux acteurs de production.

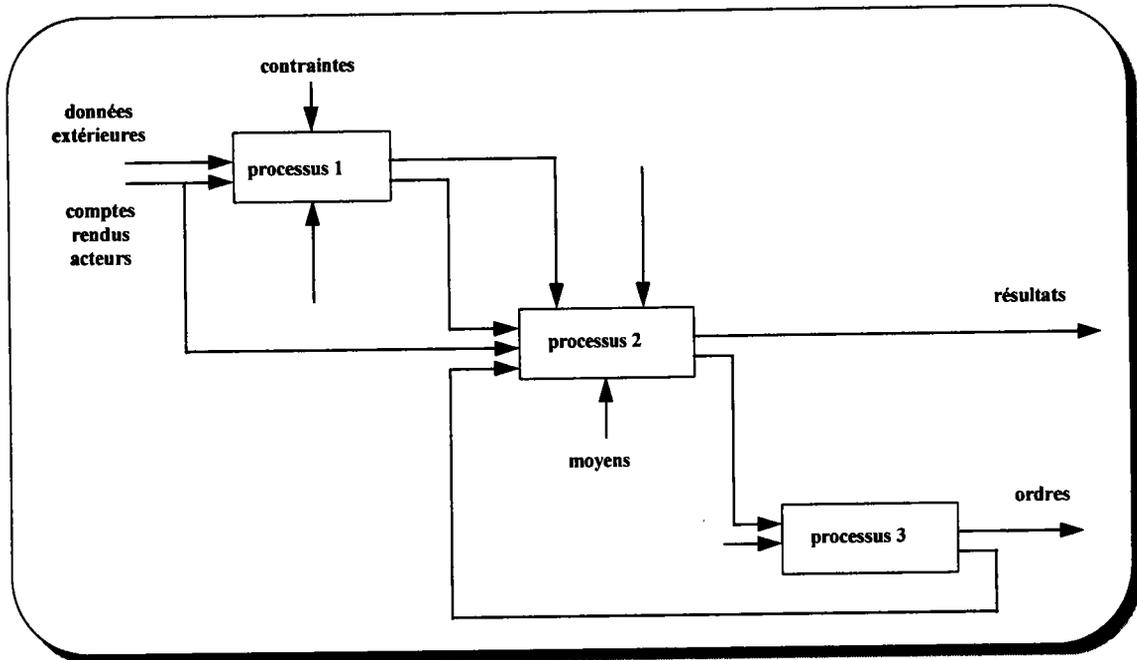


Fig.12 Modélisation du processus de production par SADT

2.3.2. Modélisation des acteurs de production par l'approche acteur

Les acteurs représentent l'ensemble des ressources humaines et matérielles d'un système de production. Chaque acteur présente un nombre de données très important qu'il convient de déterminer afin de:

- connaître le cycle de vie de chaque acteur,
- connaître à chaque instant l'état des acteurs,
- pouvoir agir sur les acteurs pour mieux les contrôler.

Dans un système de production le nombre d'acteurs participant à la fabrication est très grand. On peut les regrouper en classes par exemple:

1. machines,
2. produits,
3. manutentions,
4. outils,
5. opérateurs,
6. magasins de stocks.
7. ...

En tant qu'élément physique du système de production, l'acteur de production peut être modélisé en utilisant un concept que l'on appelle "approche acteur". Ce concept consiste à décrire les objets du système d'une manière très simple sans introduire la notion d'encapsulation utilisée par l'approche orientée objet.

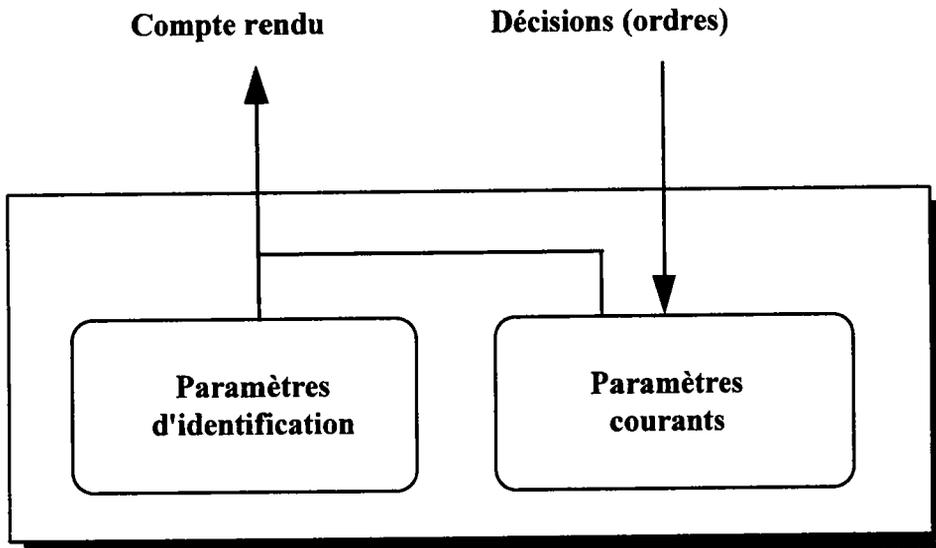


Fig. 13 Représentation d'un acteur de production

Cette modélisation nous permet de distinguer deux classes de paramètres (fig.13):

1. **les paramètres d'identification:** ils représentent tous les paramètres nécessaires pour identifier un acteur. Outre le code et le nom de l'acteur, la connaissance de ses caractéristiques, des données statistiques et historiques est souvent très utile (nom, code, repère spatial).
2. **les paramètres courants:** ce sont les paramètres variables qui permettent de suivre l'état courant des acteurs de production. Ces paramètres sont très nombreux et il est impossible de les intégrer tous dans un modèle. Il est donc nécessaire de ne prendre en compte que les données ayant une implication directe sur le processus de fabrication (état d'une machine: occupée, libre ou en panne; état d'un produit: en cours de fabrication, en attente d'une machine...).

2.3.3. Protocole de dialogue entre les processus et les acteurs de production: fonctions de production

Un acteur de production est défini par les paramètres d'identification et les paramètres courants qui représentent son état. Un processus peut lire ces informations en demandant un compte rendu sur l'état de l'acteur de production. Cette lecture permettra au processus de traiter ces informations en utilisant son algorithme ou procédé et prendre les décisions qui s'imposent. Les résultats du processus sont envoyés à d'autres processus et permettent de transformer les décisions en ordres pour changer l'état de l'acteur de production. La figure 14 montre le séquençement de ces opérations.

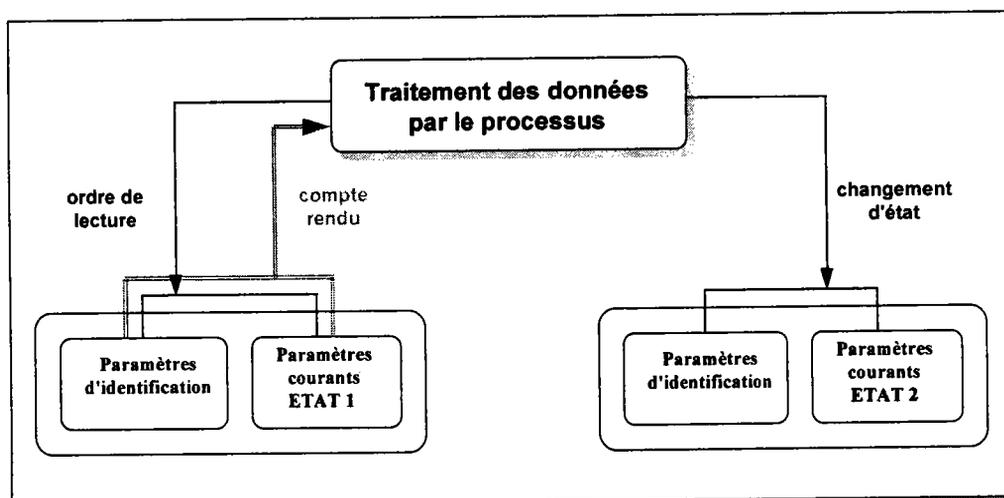


Fig. 14 Opération de contrôle d'un acteur de production

L'avancement des acteurs de production est ainsi décomposé en trois opérations élémentaires:

1. **lecture de l'état courant** d'un acteur par un processus en envoyant le code d'identification,
2. **traitement des informations** par l'algorithme ou procédé du processus
3. **écriture du nouvel état** de l'acteur en modifiant ses paramètres courants.

Cependant il serait très lourd de décomposer tout le processus de production à l'aide de ces trois opérations élémentaires (lecture-traitement-écriture). En effet, plusieurs séquences peuvent être regroupées en fonctions qui permettent de gérer les interactions entre les acteurs de production et les processus. Ces fonctions représentent le niveau 2 dans la pyramide CIM (Figure 5) et permettent de relier le niveau gestion de production au niveau commande des machines et produits. Ceci permet une intégration verticale du système de production. L'intérêt dans notre modélisation consiste à étudier d'abord les processus et les acteurs afin de définir toutes les fonctions de liaison entre le niveau gestion de production et commande des machines [BEL3-95]. Ceci permet d'élaborer un cahier de charge pour le niveau de supervision. Voici un exemple de fonctions définies dans un système de production et gérées par un processus de lancement (annexe 4):

1. demander à l'opérateur de prendre son poste,
2. demander à la machine de manutention M_n de transporter le produit P du magasin M_g vers la machine M ,
3. lancer le produit P dans la machine M ,
4. demander à la machine de manutention M_n de transporter le produit P de la machine M_1 vers la machine M_2 ,
5. demander à une machine de manutention M_n de transporter le produit P de la machine M vers un magasin M_g ,
6. surveiller l'état des acteurs de production.

2.3.4. Exemple

La figure 16 montre un exemple d'application du modèle Processus-Fonctions-Acteurs. En effet, après une décomposition du processus de production, à l'aide de l'outil SADT, on obtient un

ensemble de sous-processus dont le processus "LANCER" (figure 15 a). Ce dernier établit un plan de lancement à partir du plan d'ordonnancement. L'exécution de ce plan consiste à déclencher les fonctions préétablies qui se chargeront de la supervision des opérations (figure 15 b). Ces fonctions assurent l'avancement des états des acteurs (figure 15 c).

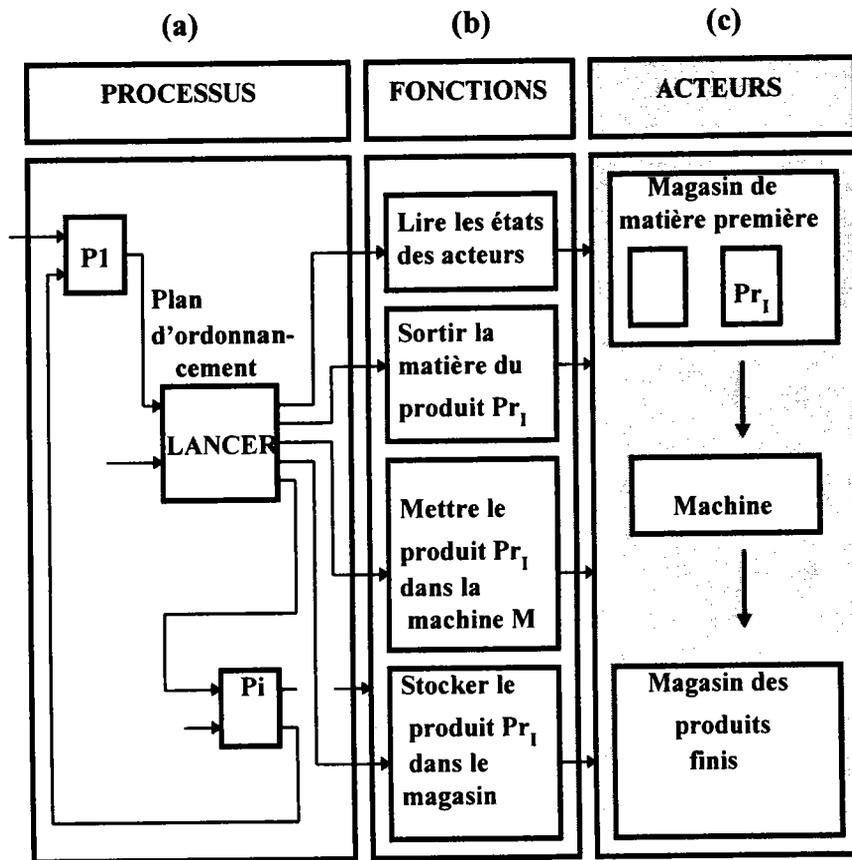


Fig. 15 Exemple de modèle PFA (Processus-Fonctions-Acteurs)

2.4. TROISIEME PHASE DE MODELISATION: modèle de spécification fonctionnelle et vue informationnelle

L'un des problèmes majeurs posés aux entreprises réside dans l'augmentation considérable du nombre des données et des flux d'information. Or, pour répondre aux exigences actuelles du marché (flexibilité, qualité...), l'entreprise doit maîtriser son système d'information afin de s'assurer que la bonne information parvient à la bonne destination et au bon moment. La vue informationnelle permet de décrire le système d'information de l'entreprise (figure 16). Pour traiter cette partie nous déterminerons l'ensemble des flux d'information circulant, d'une part, entre les processus et d'autre part entre ces derniers et les acteurs. Un modèle processus nous permettra de déterminer pour chaque processus les informations entrantes et les informations sortantes. D'autre part nous utiliserons l'approche orientée objet pour déterminer la manière d'échange des informations entre les acteurs et les processus. Enfin l'étude des fonctions permet de détailler les informations (décisions et comptes rendus) entre les acteurs et les processus.

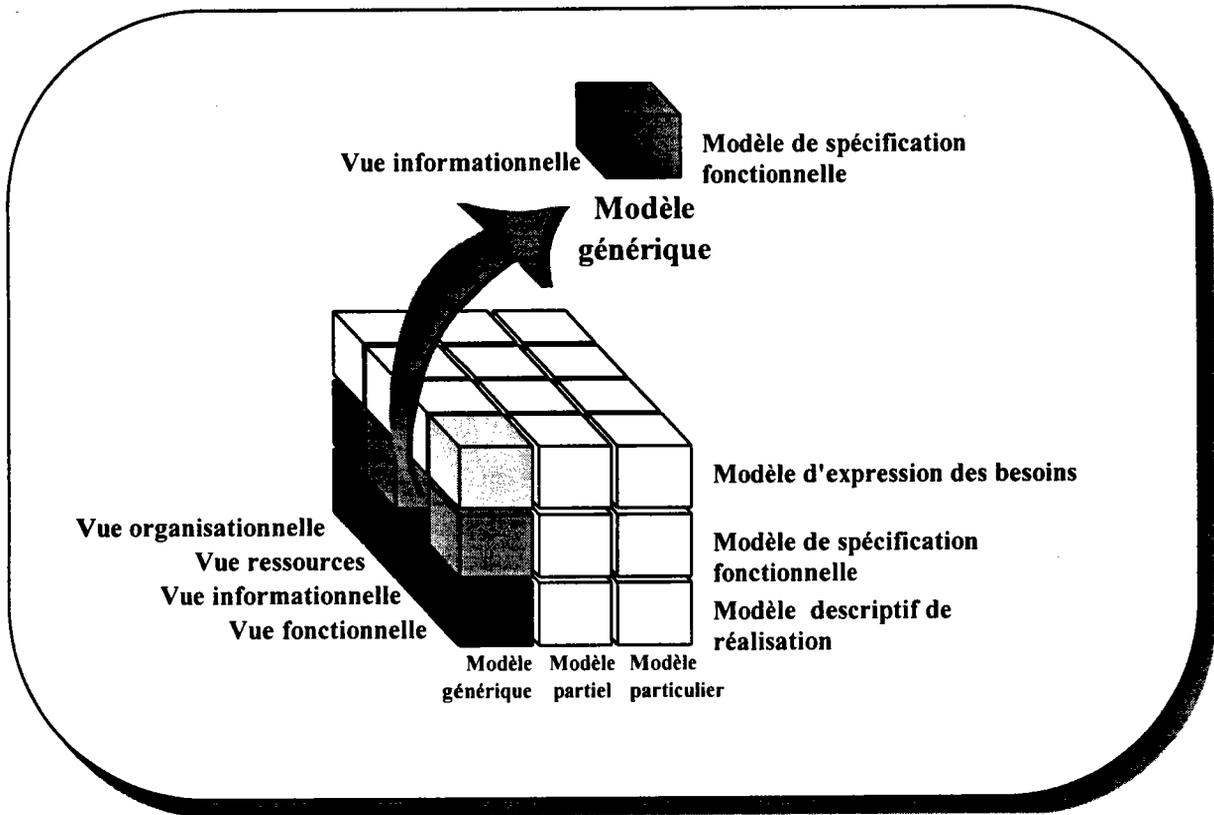


Fig. 16 Phase " 3 " de la modélisation

2.4.1. Modélisation d'un processus

Un processus de production est une suite logique d'instructions permettant de traiter les informations provenant des autres processus et les données des acteurs de production.

La figure 17 montre qu'un modèle global de processus comprend cinq parties:

1. **données provenant des autres processus:** les résultats et les décisions prises par les autres processus en relation avec le processus concerné sont stockés dans cette partie.
2. **données concernant les acteurs de production:** cette partie permet de dialoguer avec les acteurs de production en leur demandant un compte rendu concernant leurs états courants.
3. **algorithme ou procédé du processus:** c'est une suite d'instructions logiques permettant le traitement des données des autres processus et des données des acteurs de production. Les résultats issus de ce traitement sont, d'une part, envoyés à d'autres processus, et d'autre part, transmis sous forme de décision aux acteurs.
4. **résultats à transmettre à d'autres processus:** ensembles d'informations nécessaires à d'autres processus. Elles seront stockées dans la partie 1 du modèle correspondant aux "données provenant des autres processus". Ce qui permet de réaliser les liens entre les processus.
5. **décisions à transmettre aux acteurs.**

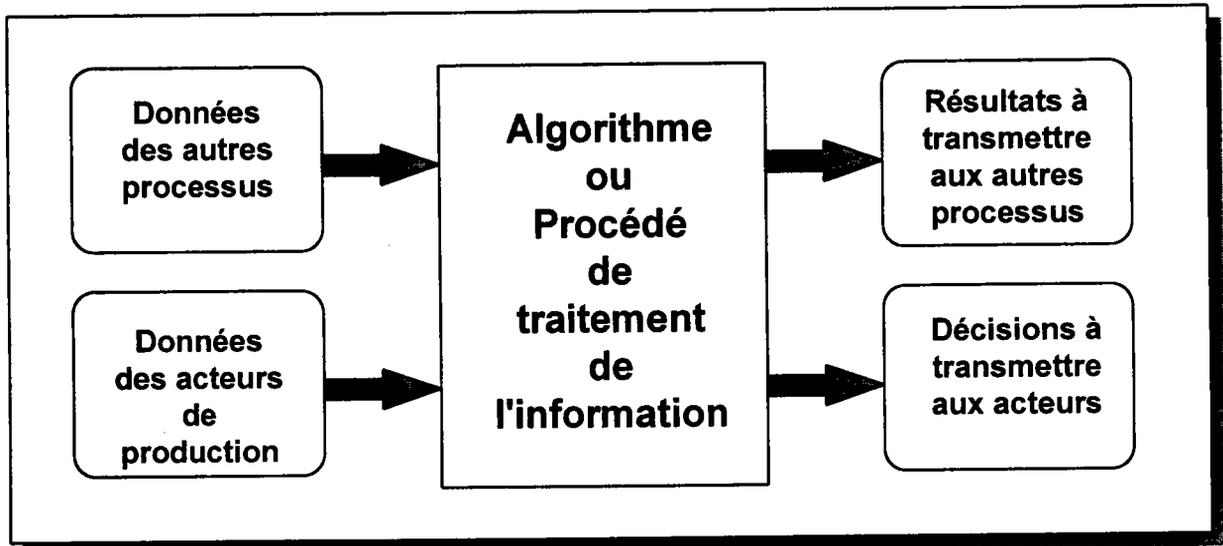


Fig. 17 Modélisation d'un processus de production

2.4.2. Modélisation des processus en utilisant d'autres outils

Il est souvent difficile de comparer les outils de modélisation existants. Ceci est dû aux points suivants:

- ils se distinguent par leurs champs d'application (modélisation du système physique, système de décision ou système d'information),
- le degré d'abstraction varie d'un modèle à un autre.
- aucune méthode ne couvre la totalité des besoins.

Le modèle SADT est fonctionnel et ne permet d'étudier un système que d'une manière statique (figure 18). Pour passer à un modèle dynamique, on peut utiliser d'autres outils de modélisation comme l'approche Orientée Objet, les Réseaux de PETRI, GRAI (Annexe 1).

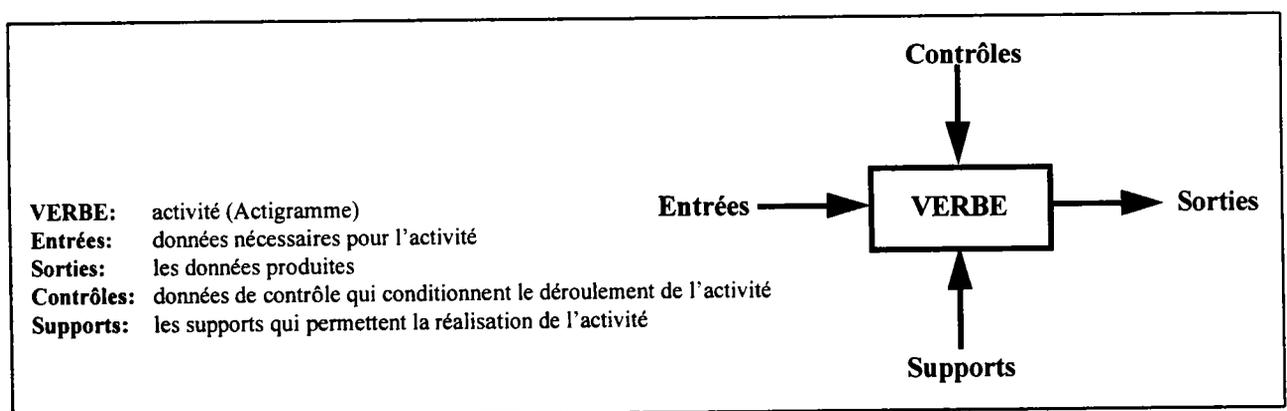


Fig. 18 Modèle SADT

Modélisation à l'aide de l'approche Objet

La décomposition du processus de production en plusieurs processus implique un nombre très important de ces derniers. L'approche processus consiste à modéliser chaque processus d'une manière indépendante. Il faut, donc, déterminer, pour chaque processus, les données nécessaires, les

opérations à réaliser par son algorithme et les résultats. Ce qui entraînera une lourdeur qui explique l'incapacité actuelle du génie logiciel à fournir des logiciels XAO regroupant plusieurs processus de gestion de la production et leurs intégration d'une manière flexible. L'approche objet permet de résoudre un nombre important de ses problèmes. En effet, par le principe d'héritage, chaque classe hérite d'une super classe au quelle elle appartient. Ainsi, la définition d'une classe processus, permet d'alléger la définition des processus de gestion de production, comme la planification, l'ordonnancement. C'est l'une des principales avantages de l'approche orienté objet. La figure 19 donne un exemple de décomposition hiérarchique du processus de gestion de production en plusieurs processus.

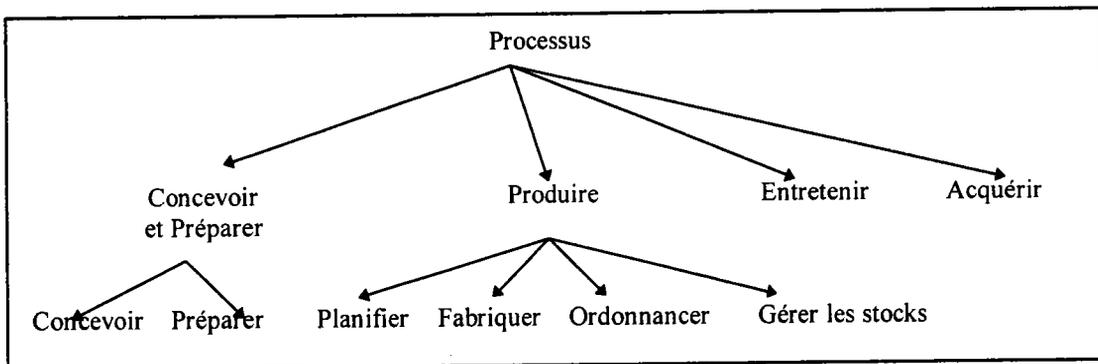


Fig. 19 Décomposition hiérarchique du processus de production

Un processus est représenté par le modèle objet suivant:

Classe

Processus

Attributs

Nom

Données des acteurs

Données des processus

Données à transmettre aux acteurs

Données à transmettre aux processus

Méthodes

Mise à jours

Acquisition 1: acquisition des données des acteurs

Acquisition 2: acquisition des données des processus

Transmettre 1: transmettre des décisions aux acteurs

Transmettre 2: transmettre des données aux acteurs

La figure 20 donne la manière de passer d'un modèle processus à un modèle Objet. Ce dernier permettra la définition de tous les processus de gestion de production. En effet, les attributs D1 (données acteurs), D2 (données processus), R1 (résultats à transmettre à d'autres processus) et R2 (Résultats à transmettre aux acteurs) se retrouvent dans la plus part des processus de production.

Donc, par le principe d'héritage il ne serait pas nécessaire de le définir pour chaque processus. De même pour les méthodes (Acquisition de D1, Acquisition de D2, Transmission de R1 et transmission de R2) qui se trouvent dans la plus part des processus.

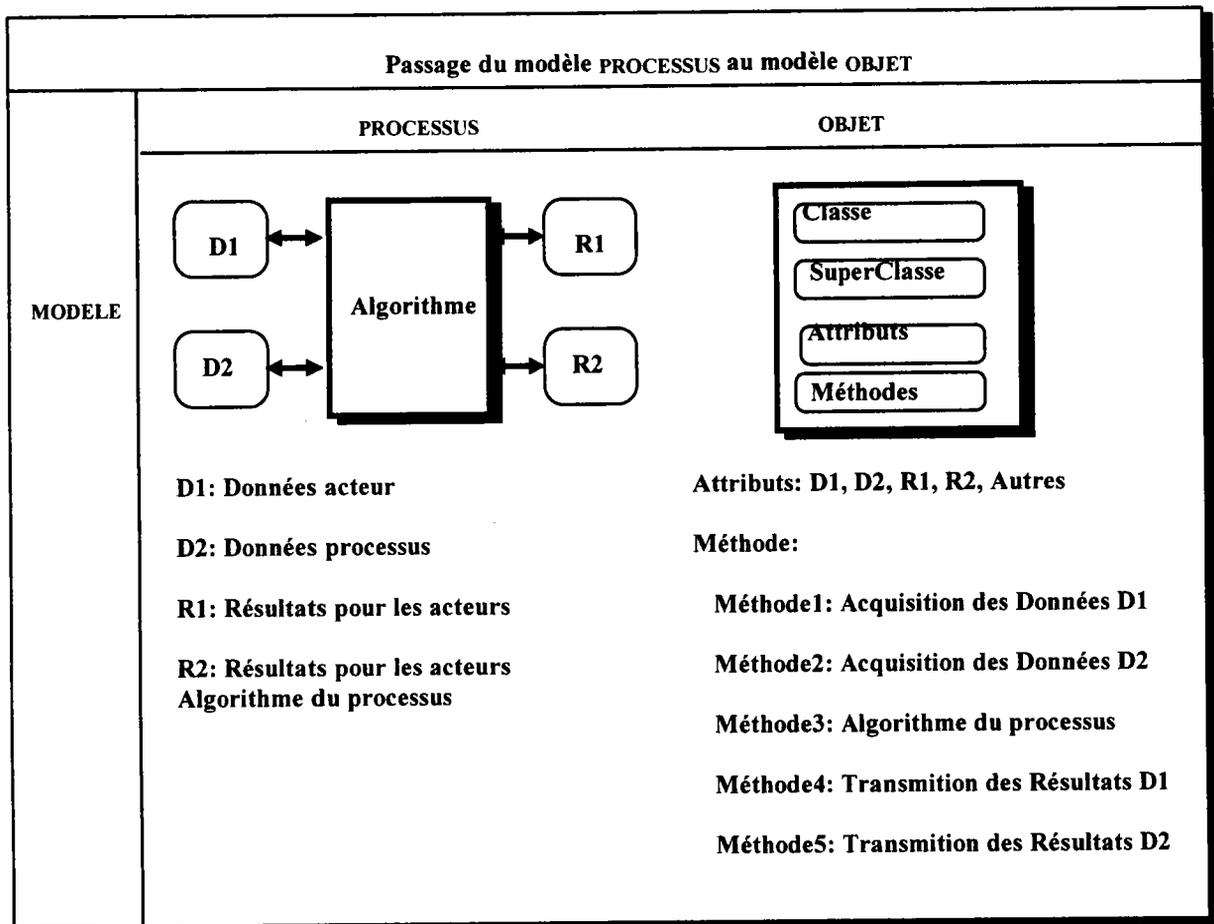


Fig. 20 Passage du modèle Processus au modèle Objet

Bien que les méthodes SADT et Objet sont, tous les deux hiérarchiques, il existe une différence fondamentale entre eux. En effet, si la méthode SADT permet, en partant du générale vers les détails, de déterminer le système d'information d'une manière exhaustive, en revanche on aboutit à un ensemble de diagramme dont le nombre peut être très important. Ce qui complique l'utilisation opérationnelle du modèle SADT. L'approche Objet permet, d'une part par le principe d'héritage, de diminuer l'encombrement des données, et d'autre part par le principe d'encapsulation, de faciliter une programmation modulaire [BEL2-95].

Modélisation à l'aide de GRAI

La méthode GRAI offre un bon modèle communicatif, alors que la méthode SADT donne un modèle conceptuel (figure 21).

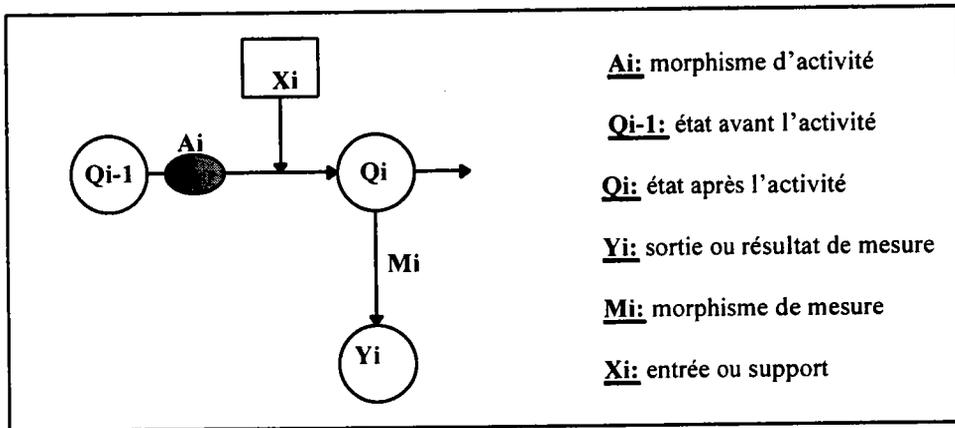


Fig. 21 Modèle GRAI

Modélisation à l'aide des Réseaux de PETRI

Le réseau de PETRI est un bon outil de modélisation des flux physiques. Cependant, on peut l'utiliser pour modéliser un système de décision (figure 22).

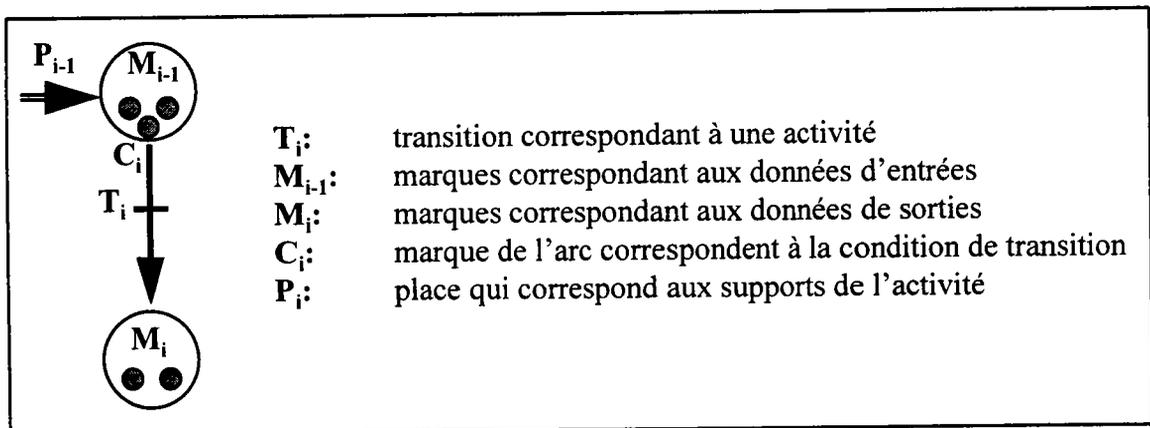


Fig. 22 Modèle Réseaux de PETRI

2.4.3. Modélisation des fonctions

La phase de modélisation précédente permet de définir toutes les fonctions de supervision. Ces fonctions peuvent être regroupées en famille et modélisées suivant la famille d'appartenance. Il faut donc pour chaque fonction déterminer:

- les informations nécessaires,
- le mode de fonctionnement,
- les opérations à réaliser pour chaque événement.

La figure 23 montre le cas de la fonction de contrôle en temps réel des acteurs de production (annexe 4).

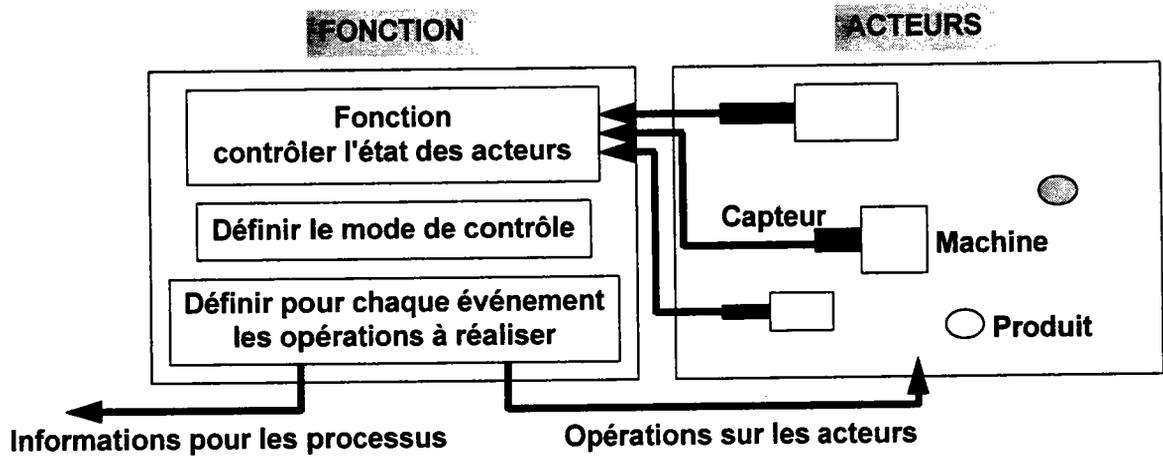


Fig. 23 Exemple de modélisation de fonction

2.4.4. Modélisation objet

Le modèle acteur définit un objet physique à l'aide de deux types de paramètres: paramètres d'identification et paramètres courants. Ces acteurs sont manipulés à l'aide de deux opérations élémentaires: lecture et écriture. Le passage du modèle acteur au modèle objet consiste à intégrer ces deux opérations dans l'objet lui-même. C'est le principe d'encapsulation où les deux opérations représentent un ensemble de sélecteurs de méthode de l'objet réalisant, ainsi, l'interface entre l'objet et son environnement. En effet, l'action de l'environnement sur l'objet est effectuée en passant par l'interface de l'objet. Il suffit donc pour changer l'état d'un objet de déclencher l'opération d'écriture et l'objet changera lui-même ses propres paramètres (figures 24 et 25).

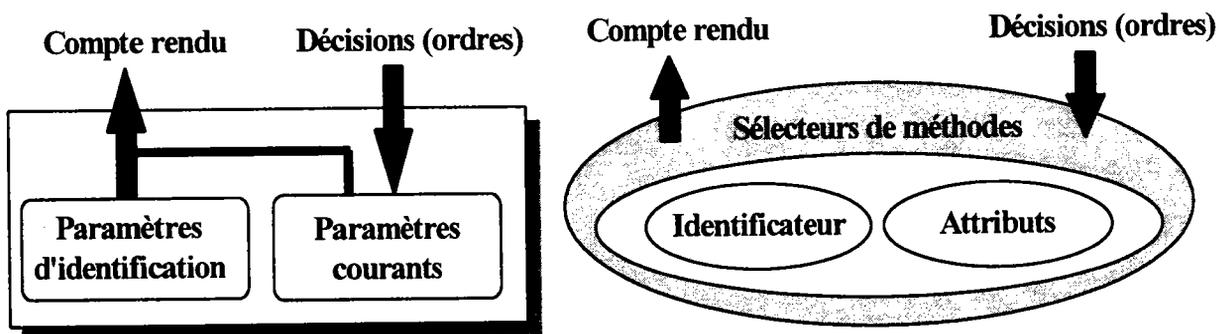


Fig. 24 Introduction au modèle objet

D'autre part, le nombre d'objet dans un système de production est très important. Il serait donc très lourd de définir pour chaque acteur toutes ses données nécessaires. Le principe d'héritage permet d'alléger la description des objets en utilisant une décomposition hiérarchique d'un atelier. Cette décomposition permet de décrire l'atelier d'une manière naturelle (figure 26). Chaque classe d'objet hérite des données de la super classe auquel elle appartient. Ainsi la définition d'un objet acteur permet de simplifier la définition des objets d'un atelier tel que les produits, les machines, les opérateurs. L'approche objet définit des classes qui regroupent un ensemble d'objets ayant plusieurs caractéristiques en commun [BEL2-95].

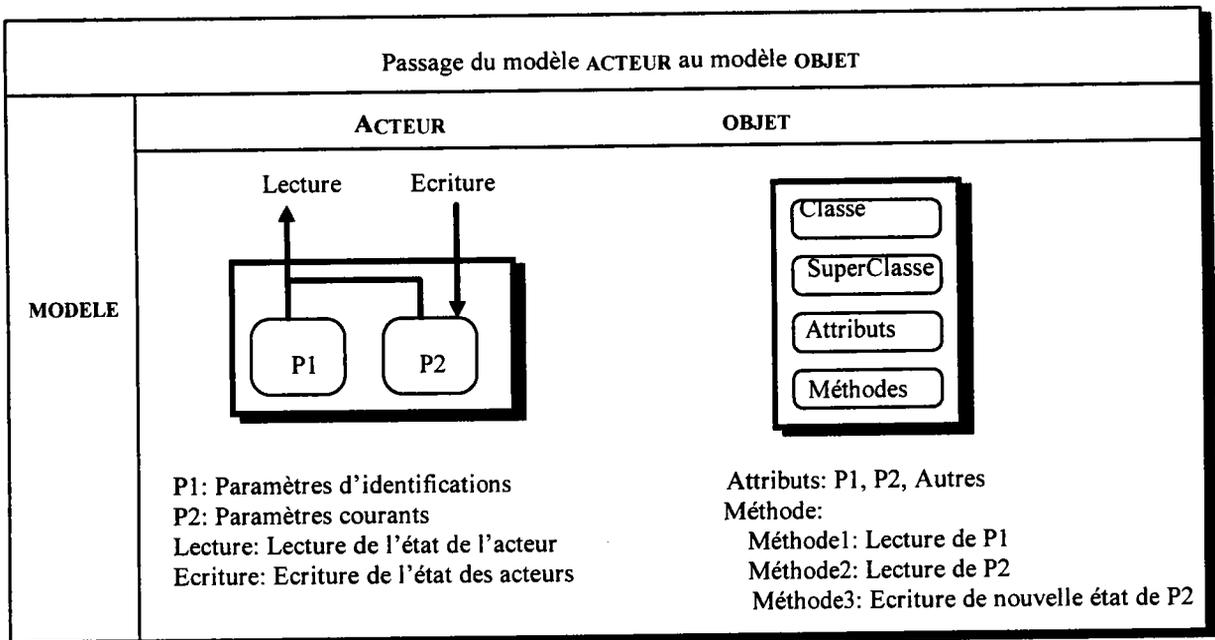


Fig. 25 Passage du modèle Acteur au Modèle objet

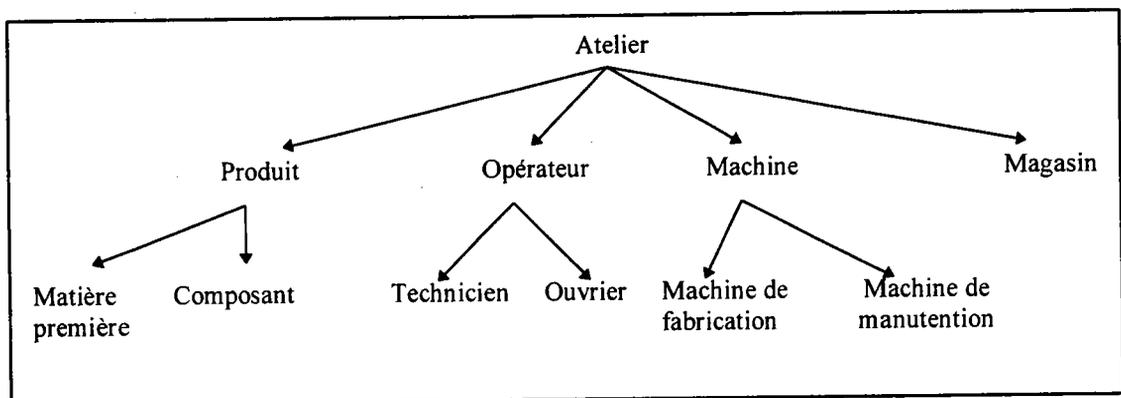


Fig. 26 Décomposition hiérarchique d'un atelier

2.4.5. Exemple

L'application de l'approche objet permet d'avoir dans le cas d'un produit ou d'une machine le modèle suivant:

Produit

- * Identificateur: code,
- * Attributs:
 - état: en stock, en attente, en cours de fabrication
 - nombre de pièces fabriquées
- * Sélecteur de méthode:
 - changer l'état du produit
 - augmenter ou diminuer le nombre de pièces

Machine

- * Identificateur: code
- * Attributs: état (libre, occupée, en panne)
- * Sélecteur de méthode: changer l'état de la machine

Pour fabriquer un produit, le processus "LANCER" (figure 15) fait appelle aux fonctions suivantes:

- * F1: Lire l'état des acteurs,
- * F2: mettre le produit " P " dans la machine " M ".

La fonction F2 se déroulera de la manière suivante:

- * appeler F1
- * si Etat de " P " est en attente et Etat de " M " est libre
- * alors:
 - appeler le sélecteur de méthode de " M " pour changer son état
 - appeler le sélecteur de méthode de " P " pour changer son état

2.5. QUATRIEME PHASE DE LA MODELISATION: modèle de spécification fonctionnelle et vue ressource

La vue ressource permet de décrire les ressources utilisées et leurs gestions (figure 27). Dans le cas des processus ceci se traduit par la détermination des moyens de traitement de l'information pour chaque processus (services).

Pour les acteurs de production, le modèle objet permet de déterminer les opérations de dialogue entre l'objet et son environnement en définissant les sélecteurs de méthodes. D'autre part, le modèle objet permet de déterminer les classes d'objets. L'introduction de la TGAO (annexe 2) permettra de bien décrire les acteurs de production en déterminant des familles d'objets.

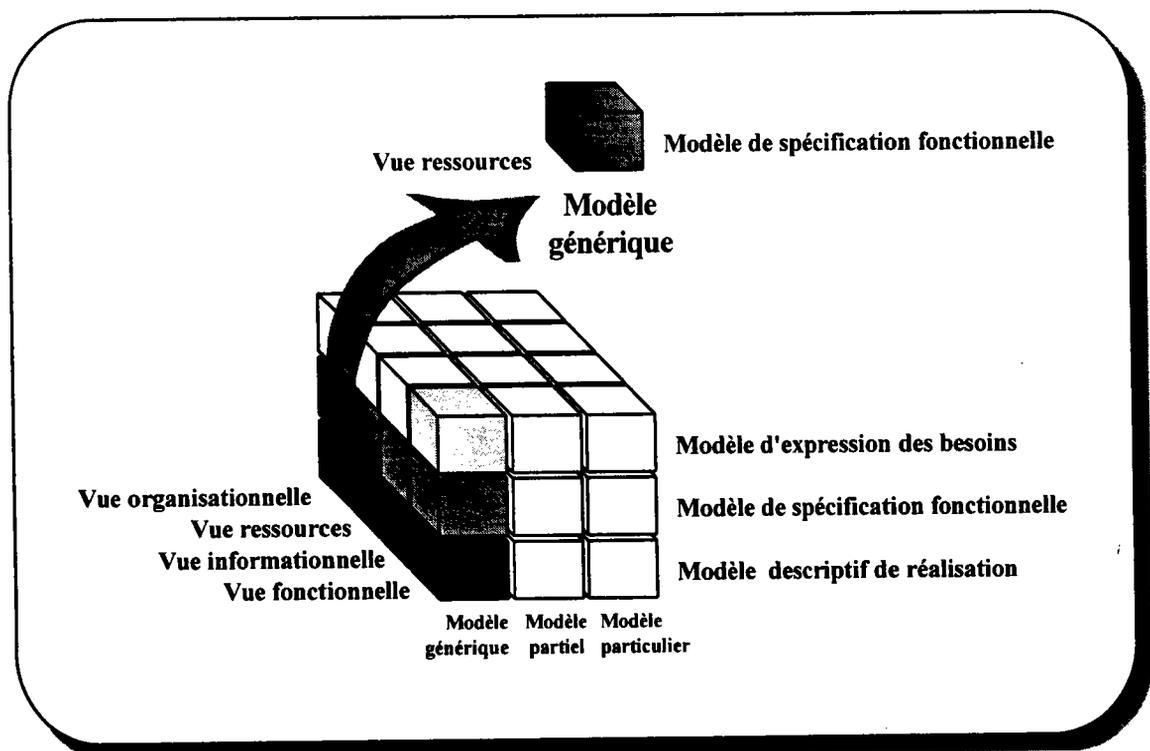


Fig. 27 Phase " 4 " de la modélisation

2.5.1. Vue ressources pour les processus

Les processus introduits précédemment ne représentent pas automatiquement des entités informatisées. En effet, ils représentent des services de production (planification, ordonnancement...) qui peuvent être manuels, semi-informatisés ou complètement informatisés quant à la manière de traitement de l'information. En effet, il est important de souligner la différence entre un système d'information et un système d'information informatisé. Dans tous les cas il faut déterminer les ressources humaines et matérielles pour chaque service (cadres, techniciens, ordinateurs, logiciels...). La figure 28 montre les trois cas. Le choix du procédé de traitement de l'information dépend de la taille de l'entreprise. En effet, dans le cas des P.M.E., le traitement de l'information est souvent manuel ou semi-informatique. Par contre, dans le cas des grandes entreprises, le nombre de services est très important. Ceci entraîne une augmentation considérable des données à traiter et des flux d'information. Dans ce cas, l'entreprise doit se doter des moyens de gestion des bases de données, des logiciels XAO et des réseaux locaux afin d'assurer une bonne coordination entre les services [BEL2-95].

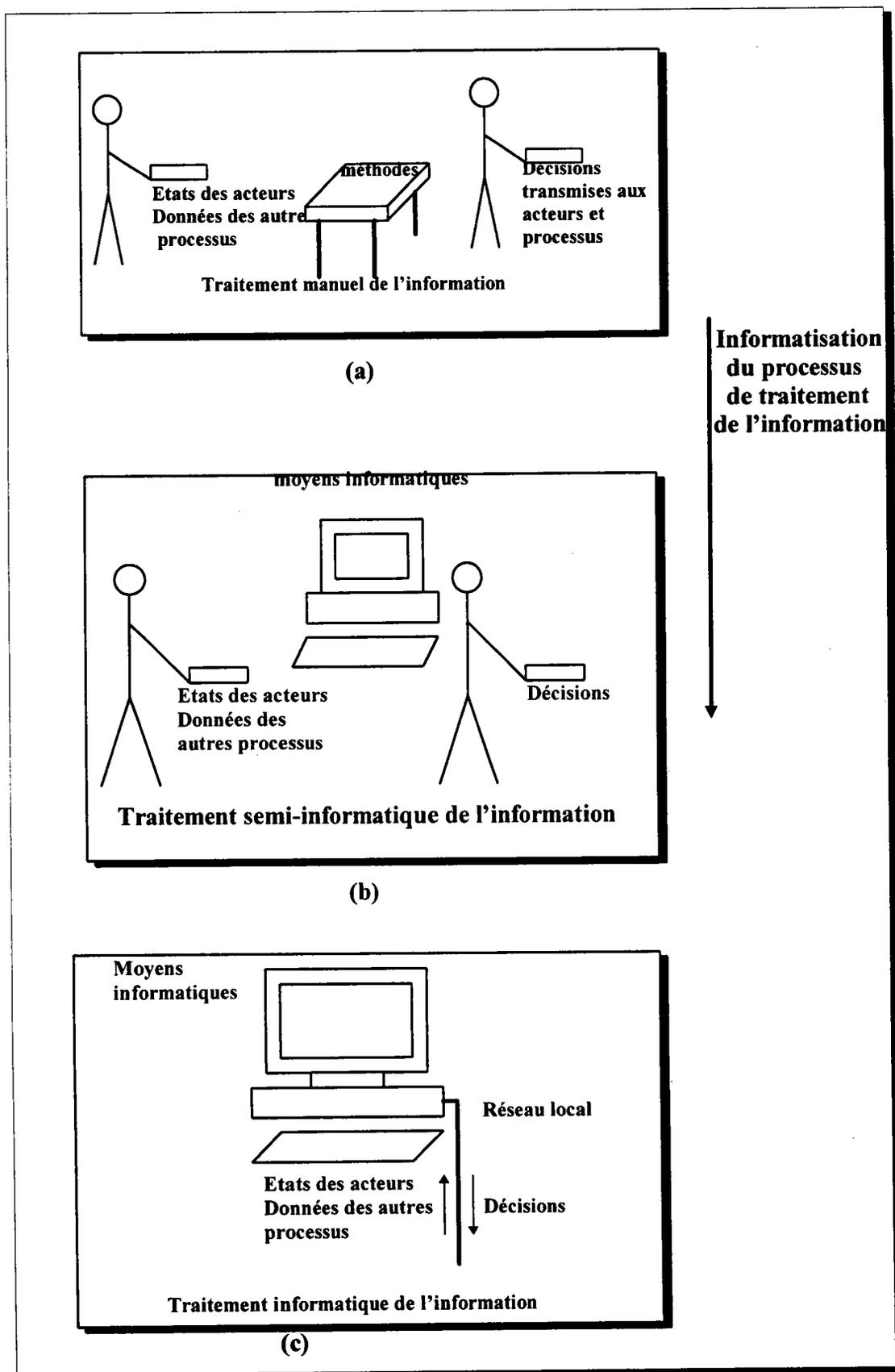


Fig. 28 Différentes manières de traitement de l'information

2.5.2. Vue ressources des acteurs : Introduction de la TGAO

Pour une entreprise ancienne et de taille importante plusieurs personnes se succèdent dans un bureau d'étude. D'où le risque de concevoir un produit répondant aux mêmes fonctionnalités qu'un produit existant. Le concept de Technologie de Groupe est le seul moyen permettant de mémoriser, d'une part, les données des produits et d'autres part le savoir faire de l'entreprise. L'analyse des aspects technique et organisationnel du système de production, montre que la notion des regroupements analogiques des problèmes (Technologie de Groupe) (annexe 2) peut contribuer efficacement à la réactivité de l'entreprise. Ce concept qui vise tout d'abord à prendre conscience de la similarité des produits et des processus productifs, conduit, à l'aide des outils d'analyse des données, à une classification (formation des familles) et un classement des problèmes (attribution de chaque problème à son groupe).

L'introduction de la TGAO permet de bien décrire les acteurs de production en déterminant des familles d'objets (Figure 29) [MUT-89] [NAD-85].

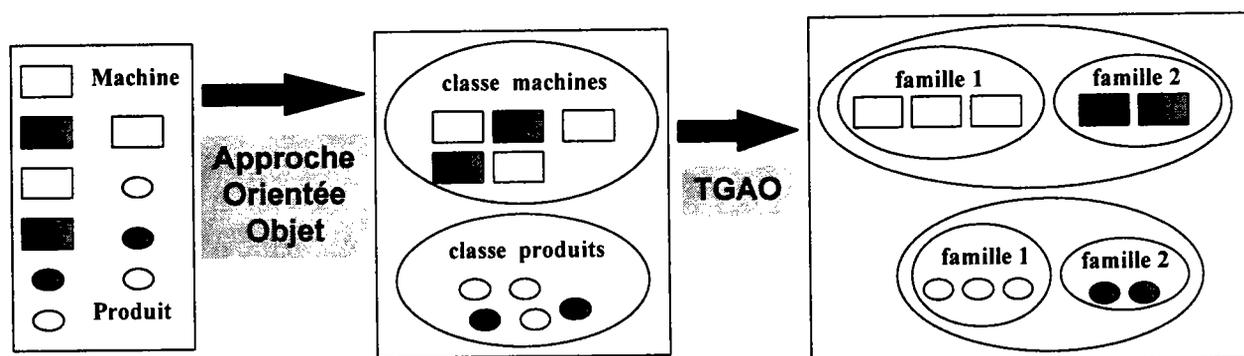


Fig. 29 Utilisation de l'approche orientée objet et de la TGAO

2.6. CINQUIEME PHASE DE MODELISATION: modèle de spécification fonctionnelle et vue organisationnelle

La vue organisationnelle permet de décrire les responsabilités et autorités sur les fonctions, les informations et les ressources (figure 30). Dans notre cas ceci consiste à:

- déterminer le mode d'interaction entre les processus,
- déterminer, en utilisant la TGAO, l'implantation d'un atelier flexible,
- déterminer le mode de supervision des fonctions: contrôle centralisé ou contrôle décentralisé [BEL3-95].

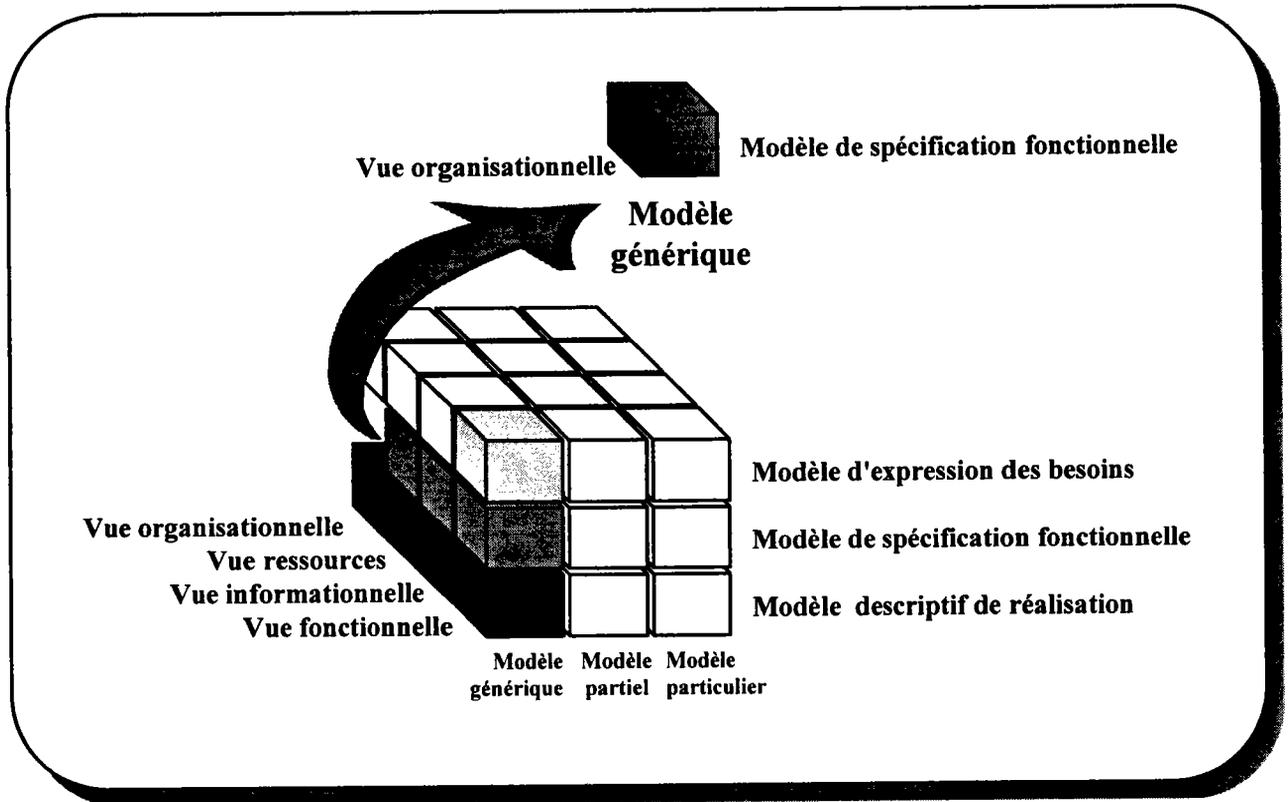


Fig. 30 Phase " 5 " de la modélisation

2.6.1. Modes d'interaction entre les processus

Chaque processus correspond à un service, un département ou une entité physique identifiable dans la production. L'ensemble des processus interagissent entre eux d'une manière continue, dynamique et complexe. Pour s'assurer du bon fonctionnement de la gestion de production, il est important de déterminer la responsabilité de chaque processus. Pour cela, il faut:

- préciser le champ de décision de chaque processus,
- déterminer les données dont il a besoin, et leurs sources de provenance,
- déterminer les données que chaque processus doit générer et leurs destinations,
- déterminer l'implication des acteurs de l'atelier en définissant les fonctions de supervision qui sont concernées par la décision prise.

Vue le contexte du marché actuel, les avancés technologiques et le changement des mentalités, les entreprise se doivent de changer leurs modes d'organisation. L'évolution des principes de gestion peut être récapitulée par trois étapes principales [LHO-91]:

1. **Pilotage Maître-esclave:** se caractérise par une prédominance des niveaux supérieurs dans un cadre de pyramide décisionnelle. Cette organisation est valable dans un univers de production stable.
2. **Pilotage Adaptatif:** organisation permettant de s'adapter aux changements rapides de la demande.

3. **Pilotage Réactif:** organisation qui donne à chaque acteur un degré de liberté pour la prise de décision. Cette méthode de gestion remet en cause la pyramide de décision (pyramide inversée).

2.7. PHASE 6 DE MODELISATION: modèle descriptif de réalisation:

Le modèle descriptif de réalisation correspond à un modèle exécutable construit par le réalisateur sous le contrôle d'un système régissant les services et les interfaces avec l'environnement (Fig. 31).

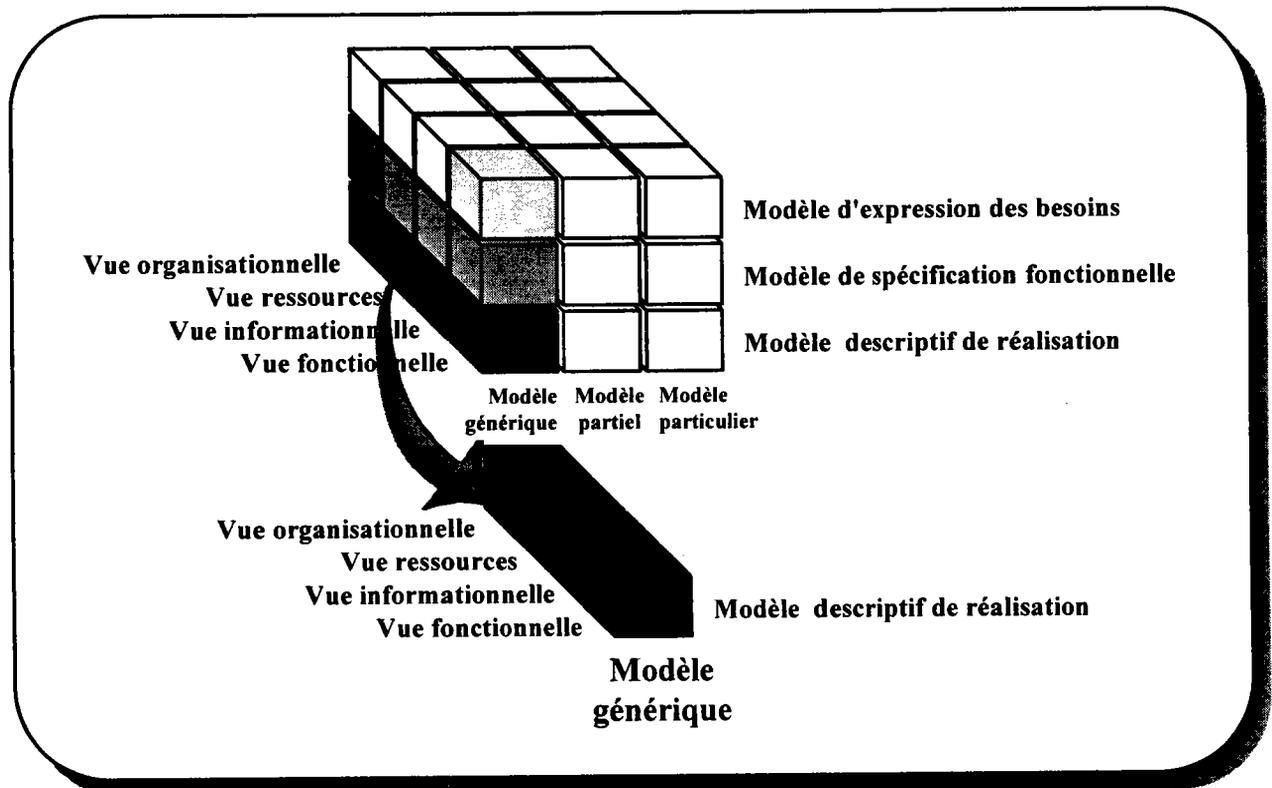


Fig. 31 Phase " 6 " de la modélisation

La réalisation consiste à:

1. suivant le mode d'interaction des processus, définir les moyens nécessaires (réseaux locaux, moyens et logiciels XAO nécessaires pour chaque processus " CAO pour la conception, FAO pour la fabrication, GPAO pour la gestion de production... ") [BEL2-95].
2. définir en utilisant la TGAO, une implantation physique de l'atelier flexible [NAD-91],
3. suivant le mode d'organisation de la supervision, déterminer les moyens nécessaires (logiciels de supervision, réseaux locaux),
4. créer par l'approche orientée objet une base de données.

2.7.1. Application de la TGAO

L'introduction de la TGAO permet de bien classifier les données et, ainsi, réorganiser l'atelier de production en facilitant l'implantation de l'atelier flexible. En effet, la TGAO permet de réaliser des gains techniques, économiques et sociaux à tous les niveaux de l'entreprise.

Les gains techniques peuvent être résumés comme suit:

- la réorganisation des ateliers et l'amélioration de leur flexibilité et de leur capacité d'adaptation,
- une meilleure intégration des informations de l'entreprise et un décloisonnement des fonctions et des services,
- l'optimisation des flux d'information et de matières (inter-usines, inter-départements, inter-cellules...) permettant de simplifier la gestion de production et de faciliter le suivi de la production,
- l'amélioration de la standardisation des composants, des processus productifs et des procédés d'obtention.

2.7.2. Introduction du système d'information dans le modèle

Le premier modèle PFA (§.2.1. figure 7) ne met évidence aucune informatisation dans le système de production. En effet, les processus représentent l'ensemble des services d'un système de production. Chaque processus recueille les informations provenant d'autres services, ainsi que l'état des acteurs de production. Puis ils traitent ces informations suivant une méthode définie. Les décisions prises seront transmises aux autres processus et se traduiront par une action physique sur les acteurs.

Vu le nombre d'informations circulant dans le système de production, il devient nécessaire d'introduire un sous-système de mémorisation. Ce dernier permettra de:

- conserver les informations sur les acteurs,
- faciliter la mise à jour de l'état des acteurs,
- accélérer la lecture par les processus des informations sur les acteurs,
- faciliter la communication entre les processus.

Pour créer une base de données, on modélisera l'acteur par un objet. En effet, un acteur est défini par son paramètre d'identification et ses variables de l'état courant. De plus l'approche objet permet:

- l'adéquation matériel/logiciel,
- la véritable indépendance logiciel/matériel,
- la poursuite de l'évolution.

2.7.3. Réalisation de la supervision

Les fonctions représentent le niveau de supervision d'un atelier. Dans le cas des PME ce niveau est pris en charge par une ou plusieurs personnes chargées de transmettre les ordres de fabrication, de suivre et contrôler la production. Pour les grandes entreprises le nombre de fonctions du niveau de supervision est très important. Dans ce cas, l'entreprise doit se doter d'un système de supervision (figure 32) qui permet de :

- contrôler de plus en plus de paramètres,
- suivre l'état des acteurs de production à l'aide de capteurs,

- assurer l'exécution des programmes de fabrication,
- réduire le temps de contrôle,
- introduire un réseaux (Info...Terrain) entre les processus,

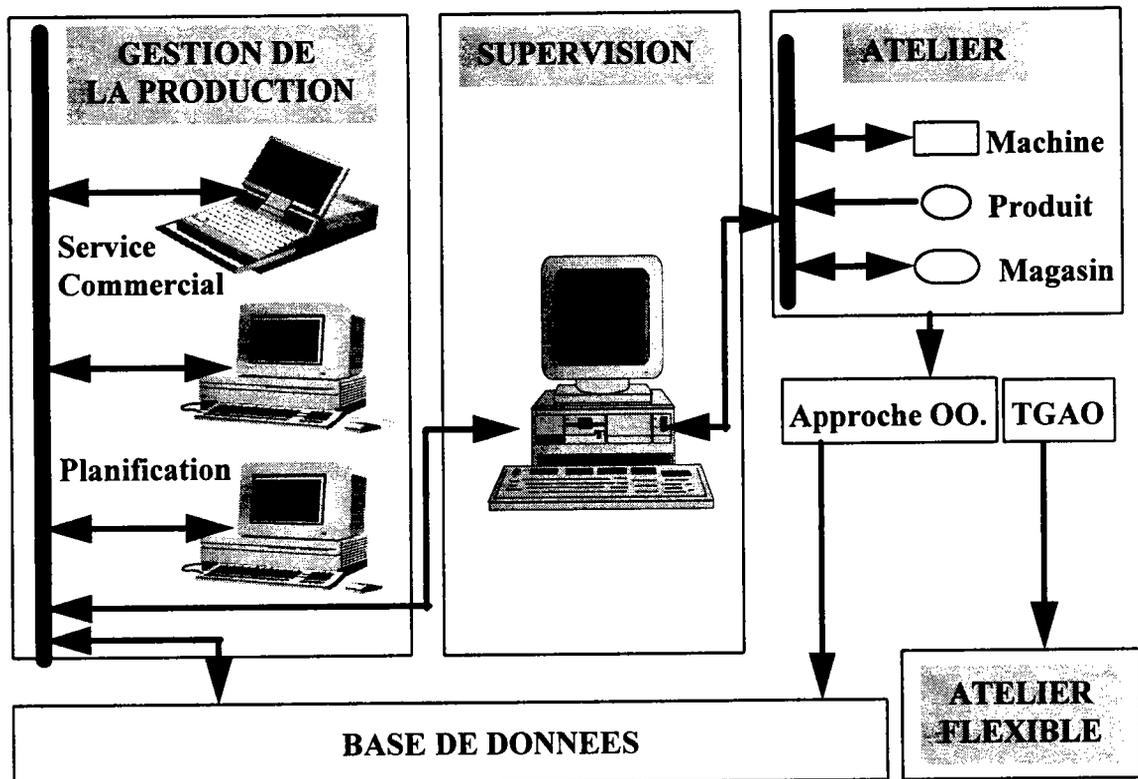


Fig. 32 Informatisation du modèle Processus-Fonction-Acteur

2.8. CONCLUSION

Les approches de modélisation existantes (approche hiérarchique, approche systémique, approche orientée objet) ne permettent pas de développer un modèle conceptuel intégrant les différents niveaux d'abstraction. De plus, la multiplicité des outils de modélisation et d'analyse (SADT, GRAI, Réseaux de PETRI...) introduit une nouvelle complexité due à leur incompatibilité.

L'approche présentée (PFA: Processus-Fonctions-Acteurs) définit un modèle globale représentant tous les aspects du système de production. En effet, ce dernier comporte trois niveaux correspondant à la gestion de production, la supervision, et le système physique. La méthode PFA modélise la partie gestion de production à l'aide d'une entité appelée "processus". La partie physique est représenté par une entité appelée "acteur". Enfin, la supervision entre les processus et les acteurs est modélisé par une entité appelée "fonction".

La méthodologie présentée nous a permis d'intégrer trois approches de modélisation (approche hiérarchique, approche systémique, approche orientée objet). Chacune de ces méthodes présente un aspect du système de production. En effet, la systémique permet d'étudier l'influence de l'environnement et les flux traversant le système de production. L'approche hiérarchique définit les différents niveaux de gestion de production en suivant une décomposition hiérarchique. L'approche orientée objet permet de décrire les ressources d'un atelier en définissant des classes d'objets. De

plus, le modèle met en évidence l'intérêt de la technologie de groupe pour concevoir un atelier flexible. Enfin, l'ensemble processus, acteurs, fonctions et base de données peut être lié par un réseau local.

Le chapitre suivant donne un exemple d'application de ce modèle pour étudier un système de production.

3

APPLICATION DU MODELE PROCESSUS - FONCTIONS - ACTEURS SUR UN SYSTEME DE PRODUCTION

Aujourd'hui, l'entreprise doit se concentrer sur son environnement extérieur et déceler les paramètres à prendre en compte pour le choix d'une stratégie de production. En effet, l'écoute des attentes du client réalisé par le service marketing, l'attention portée aux choix des fournisseurs et la veille technologique sont autant de facteurs à étudier avant de définir une politique de production. Ceci suppose que les entreprises disposent d'outils d'analyse et de modélisation.

Dans ce chapitre, nous utiliserons la méthodologie PFA pour étudier un système de production. L'étude systémique nous permettra d'analyser l'influence de l'environnement du système de production sur celui-ci (§3.1). Nous utiliserons l'approche hiérarchique pour étudier les différents processus de production à l'aide de l'outil de modélisation SADT (§3.2.1), nous déterminerons les différents paramètres d'identification et paramètres courants relatifs à chaque acteur de production (§3.2.3) et enfin, la notion de fonction nous permettra de définir un cahier de charge nécessaire pour choisir un système de supervision (3.2.2).

3.1. MODELE D'EXPRESSION DES BESOINS ET VUE FONCTIONNELLE

3.1.1. ETUDE SYSTEMIQUE DE L'INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT

La première étape d'une modélisation systémique consiste à étudier un système en analysant ses interactions avec son environnement. Cette étape est semblable à l'approche cybernétique où le système est représenté par une boîte noire avec une entrée et une sortie dans un environnement donné. La figure 33 montre qu'un système est traversé par un "flux" et évolue dans un "champ" donné. Le flux évoque tout ce qui circule dans le système alors que le champ représente l'influence de l'environnement. D'autre part, il faut définir les objectifs du système.

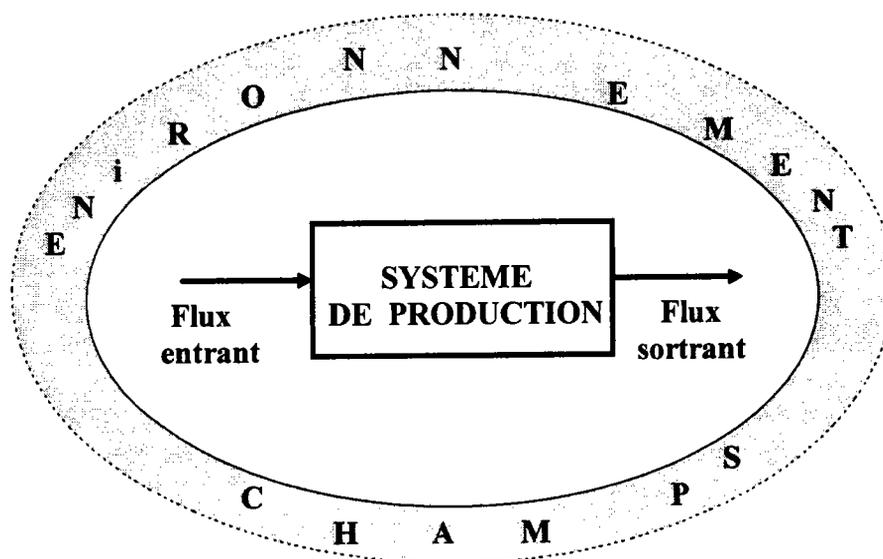


Fig. 33 Vue systémique d'un système de production

3.1.1.a. Etude des flux traversant un système de production

On distingue trois types de flux:

1. le flux de matière,
2. le flux d'information,
3. le flux d'énergie.

1. le flux de matière:

Entrant:

- matières premières,
- pièces,
- fournitures,
- outillages,
- matériels roulants,
- équipements,
- pièces sous traités,
- composants.

Sortant:

- produits finis,
- pièces de rechanges,
- rebuts,
- déchets,
- équipements non utilisés,
- matériels roulants.

2. le flux d'information**Entrant:****a. information provenant du service commercial et marketing:**

- résultats d'enquêtes et sondages sur la qualité du produit,
- prévisions des ventes,
- carnets de commande,
- cahiers des charges.

b. informations provenant du service stratégique:

- politique de la production,

c. informations provenant du service de distribution:

- produits envoyés aux clients,
- informations sur le mode de distribution.

d. informations provenant du service administratif:

- informations sur le personnel,

e. informations provenant des fournisseurs.**Sortant:****a. informations vers le service commercial et marketing:**

- informations techniques sur les produits,
- informations sur les niveaux des stocks.

b. informations vers le service stratégique,**c. informations vers le service administratif,****d. informations vers les fournisseurs.****3. le flux d'énergie**

- électricité,
- essence,
- gasoil.

3.1.1.b. Les champs appliqués sur un système de production:

Le système de production évolue dans un environnement donné. Ce dernier représente une sphère d'influence, appelé champ, qui agit sur le système. Voici quelques exemples de champs ayant une influence sur la production:

- relations entre les différents sous-systèmes de l'entreprise avec le système de production,
- culture de l'entreprise,
- contraintes du marché,
- développement de la région où se trouve l'entreprise,
- contexte économique, culturel et politique du pays.

3.1.1.c. Les objectifs du système de production

Les objectifs du système de production doivent contribuer à la réalisation des objectifs globaux que l'entreprise se fixe; c'est-à-dire:

objectifs économiques,

- objectifs commerciaux,
- objectifs sociaux,
- objectifs techniques ou technologiques,

Pour réaliser ces objectifs, il faut fournir aux clients des produits ou des services capables de satisfaire leurs besoins en respectant leurs exigences [NOL-86]:

- niveau de qualité des produits ou services acceptable (Qualité),
- quantités produites adéquates (Volume),
- produits disponibles au moment voulu (Temps) et au lieu demandé (Lieu),
- avantage concurrentiel (Coût),
- individualisation des produits aux besoins spécifiques:
- innovation des produits,
- rapidité de livraison,
- prix intéressant.

Ces exigences (Q-V-T-L-C) sont regroupées sous le terme "productivité concurrentielle".

3.1.2. ETUDE SYSTEMIQUE DES SOUS-SYSTEMES DU SYSTEME DE PRODUCTION

La deuxième étape de l'analyse systémique est l'étude des interactions entre les différents sous-systèmes du système de production. Ce dernier peut être décomposé en deux sous systèmes:

1. système de traitement de l'information,
2. système de traitement de la matière.

Le système de traitement de la matière représente l'ensemble des processus de gestion de production. Il traite, d'une part les informations provenant de l'extérieur du système de production et, d'autre part, les informations provenant du sous-système de traitement de la matière (atelier). Ce traitement engendre des informations qui seront transmises à d'autres services de l'entreprise, ainsi que des décisions envoyées vers le sous-système de traitement de la matière. Ce dernier transforme la matière en provenance de l'extérieur en suivant les décisions prises par le sous-système de traitement de l'information (Figure 34)

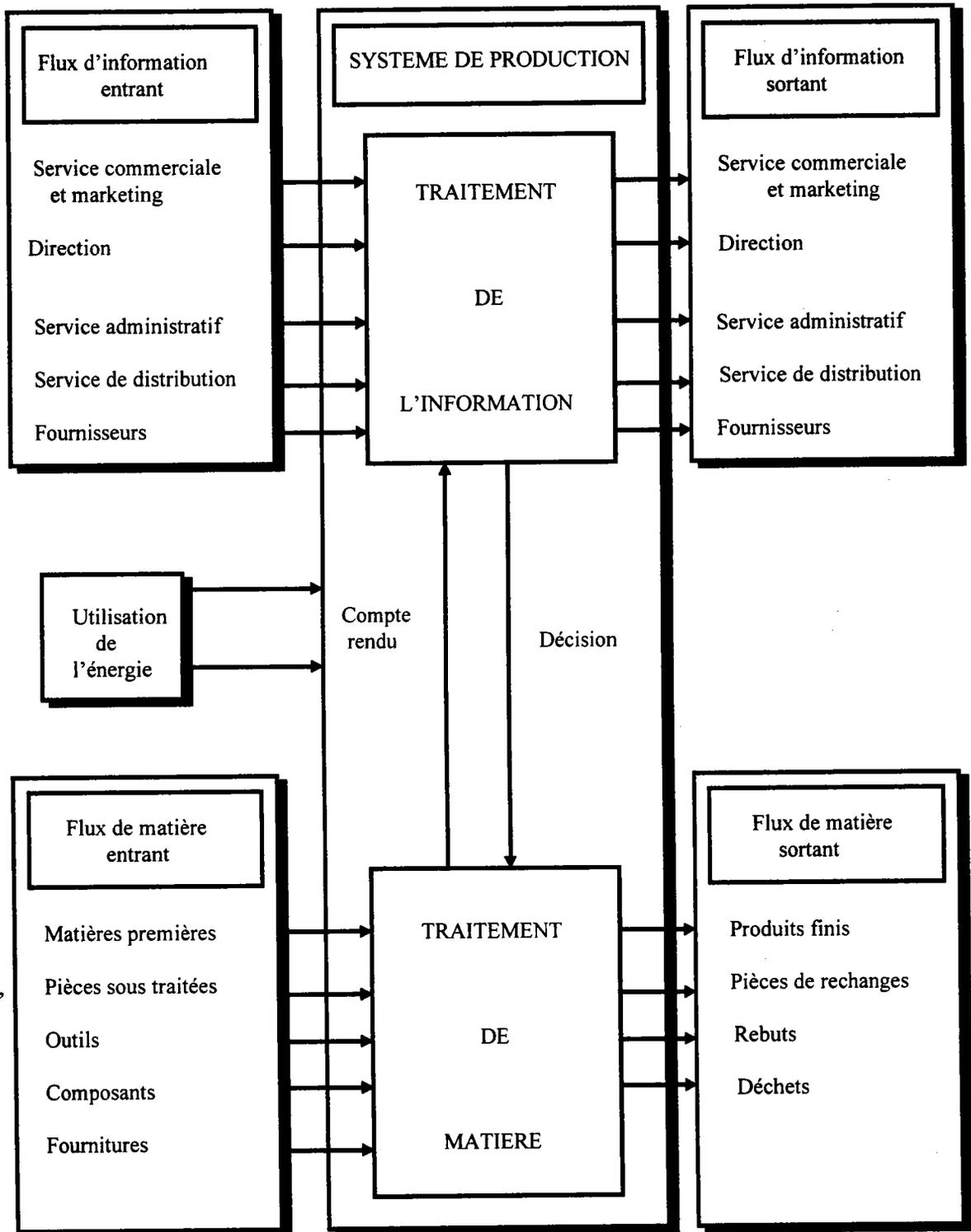


Fig. 34 Modélisation systémique d'un système de production

3.2. MODELE DE SPECIFICATION FONCTIONNELLE ET VUE FONCTIONNELLE

L'étude systémique nous a permis de décomposer le système de production en deux sous-systèmes:

1. sous système de traitement de l'information: il représente l'ensemble des processus de réflexion et de prise de décision. C'est la partie optimisation de la production. Nous précisons qu'il est différent du système d'information que nous introduirons plus tard.

2. sous-système de traitement de la matière: il représente les acteurs de l'atelier.

En général, on introduit un troisième sous-système permettant le lien entre ses deux sous-systèmes (figure 35). Il représente l'ensemble des fonctions de pilotage des opérations de la production et assure la supervision des opérations réalisées dans un atelier.

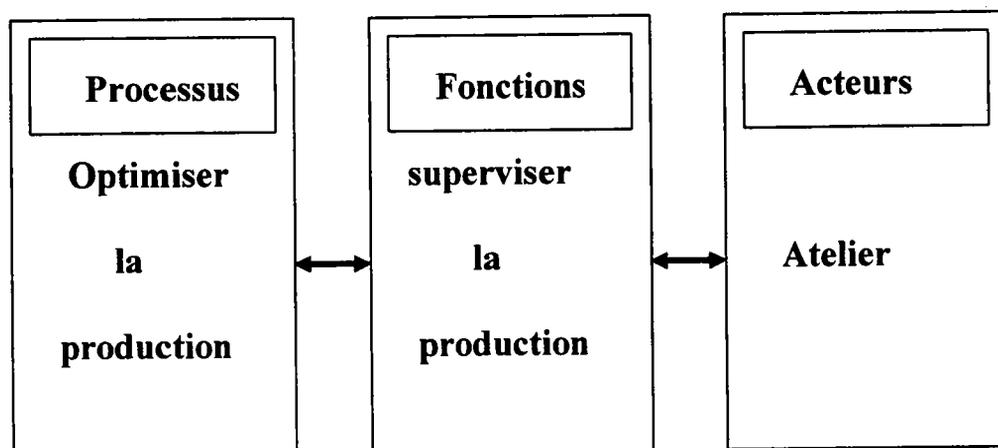


Fig. 35 Application du modèle PFA pour un système de production

3.2.1. Décompositions du sous-système d'optimisation de la production

La figure (36 a) montre que le système d'optimisation de la production est formé de quatre parties:

1. Gestion des équipements,
2. Planification et Contrôle de la production et des stocks,
3. Gestion de la qualité,
4. Gestion des approvisionnements.

3.2.2. Modélisation des fonctions

Les fonctions assurent la réalisation des décisions prises par les processus. Ainsi, la figure (36 b) montre que les quatre macro-fonctions suivantes permettent de superviser un système de production:

1. Réaliser le plan de gestion des équipements.
2. Réaliser le plan d'approvisionnement.
3. Réaliser le plan de gestion de la qualité.
4. Réaliser le plan de fabrication et contrôler les opérations.

La décomposition de chaque macro-fonction en plusieurs fonctions permettra d'obtenir un cahier de charge nécessaire lors du choix d'un système de supervision.

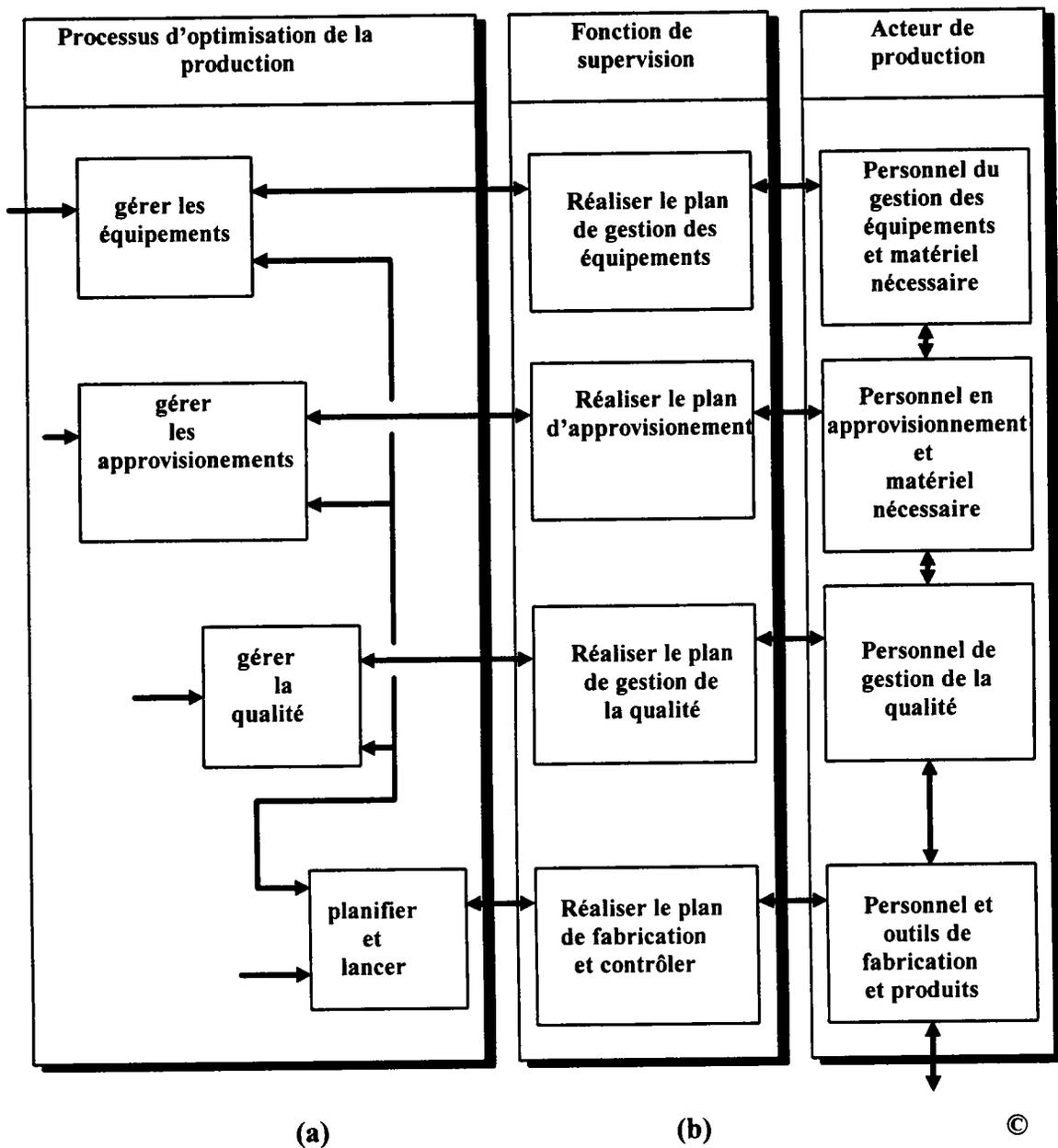


Fig. 36 Décomposition d'un système de production en utilisant le modèle PFA

3.2.3. Etude des acteurs de production

L'étude des acteurs consiste à énumérer toutes les ressources humaines et matérielles et définir, pour chaque ressource, les paramètres d'identification et les paramètres d'états courants (paramètres permettant le suivi de l'acteur) (Figure 36 c).

1- Les informations sur les machines :

a- les informations d'identification :

- nom et numéro,
- caractéristiques de la machine:
 - temps nécessaire pour le montage,
 - temps de réglage pour chaque outil,

temps nécessaire pour réaliser une opération,
 temps nécessaire pour le démontage,
 durée de vie de la machine,
 les pannes possibles (données statistiques),
 la durée entre deux pannes,
 temps de réparation,

b- Les paramètres courants

- état de fonctionnement de la machine :
 repos,
 actif,
 attente,
 panne avec / ou sans produit (bloqué),
- le numéro du lot de fabrication en cours,
- le numéro du produit en cours,
- le numéro de l'outil utilisé.

2- Les informations sur le produit :

a- les informations d'identification :

- nom du produit,
- code du produit,
- numéro du lot de fabrication,
- les informations sur sa gamme de fabrication :
 date de lancement,
 date de la dernière modification,
 date de la création de la gamme d'origine,
 numéro de la phase,
 processus opératoires,
 code département/section du poste de charge,
 temps de réglage des machines,
 ordre de passage sur les machines,
 informations pour chaque opération:
 le temps de préparation alloué,
 le temps d'usinage-machine alloué,
 le temps d'occupation homme,
 la qualification de l'opérateur,
 le code des outillages coupants,
 le code du montage d'usinage,
 temps de montage,

temps d'usinage,
 temps de démontage,
 numéro de gamme,
 code magasin,
 prix moyen pondéré,

b- Les paramètres courants:

- opération en cours :
 - en attente,
 - en cours usinage,
 - état pièce (liste des opérations sur la pièce finie et des opérations restantes)
 - en cours de montage,
 - en cours de démontage,
 - en cours de chargement,
 - en cours de transport,
 - en cours de déchargement,
 - en cours de stockage,
- qualité du produit :
 - bonne,
 - mauvaise,
 - taux de rebut,
- lot de produit en cours :
 - numéro,
 - nom,
 - en attente,
 - quantité de produits fabriqués,
 - quantité de produits restants,
 - avance/retard par rapport au plan de production,
 - en cours de chargement,
 - en cours de transport,
 - en cours de déchargement,
 - en cours de stockage,

3- Informations sur les machines de manutention :

a- les informations d'identification :

- numéro,
- numéro et nom de la machine amont,
- numéro et nom de la machine aval,
- temps nécessaire au transport entre les deux machines,

- caractéristiques de la machine :
durée de vie de la machine,
la durée entre deux pannes,
temps de réparation,

b- Les paramètres courants:

- état de fonctionnement de la machine :
chargement,
transport (en charge),
déchargement,
déplacement à vide,
non active,
arrêt induit,
arrêt propre,
le numéro du lot de fabrication en cours de transport,
le numéro du produit en cours de transport,

4- Informations sur les magasins de stocks :

a- les informations d'identification :

- nom du magasin,
- numéro du magasin,
- noms des produits stockés,
- capacité du magasin,
- niveau du stock de sécurité,

b- Les paramètres courants:

- niveaux des stocks,
- quantités de provision nécessaires pour les périodes suivantes,
- bon d'achat de la matière,
- bon de vente du produit.

5- Informations sur les opérateurs :

a- les informations d'identification:

- nom de l'opérateur,
- qualifications,
- horaire de travail,
- service auquel il appartient,
- les postes possibles qu'il peut occuper,

b- Les paramètres courants:

- service où il travaille,
- le poste qu'il occupe,
- état de fonctionnement :
- non actif,
- arrêt structurel,
- productif,
- arrêt propre,
- arrêt induit.

3.3. MODELE DE SPECIFICATION FONCTIONNELLE ET VUE INFORMATIONNELLE

Lors de l'étape précédente nous avons décomposé le processus de production en quatre sous-processus (gestion des équipements, planification et contrôle de la production et des stocks, gestion de la qualité et gestion des approvisionnements). Dans la phase de modélisation suivante nous allons étudier chaque processus en utilisant la modélisation PFA définie dans le chapitre précédent.

3.3.1. Processus de gestion des équipements

La gestion des équipements est devenue une nécessité depuis de nombreuses années. En effet, le coût des équipements est souvent très élevé et chaque panne a des conséquences graves sur les délais de livraison et la baisse de productivité de l'entreprise. Par conséquent, il est important d'établir une politique de gestion et de maintien des équipements.

La gestion des équipements comporte trois processus essentiels:

1. Acquisition des équipements,
2. Utilisation et entretien,
3. Remplacement des équipements.

Le processus d'acquisition des équipements permet de recueillir les informations issues du service de gestion de technologie, marketing et fournisseurs. Ces informations sont évaluées suivant un procédé (algorithme du processus) en respectant un ensemble de critères. Les décisions issues de cette évaluation sont transmises sous forme de rapport à la direction, aux services des finances et d'approvisionnement.

Le processus d'utilisation permet de mettre en place des procédures de planification des essais des équipements acquis, de fixer leurs modes d'emplois et d'établir un plan d'entretien des équipements. Enfin, le processus de remplacement permet d'évaluer les possibilités de remplacement des équipements.

La figure 37 montre le modèle du processus de gestion des équipements et son interaction avec les autres processus.

3.3.2. Processus de planification et contrôle de gestion

Le processus de planification et de contrôle de gestion occupe une place importante dans la gestion de production (§1.2.2.b et §1.2.2.c). On peut le décomposer en trois processus:

1. planification à moyen terme,
2. ordonnancement à court terme,
3. lancement,

La figure 38 montre le modèle du processus de planification et de contrôle de la gestion et son interaction avec les autres processus.

3.3.3. Processus de gestion de la qualité

La qualité est devenue une nécessité dans le contexte actuel. On peut décomposer le processus de gestion de la qualité en quatre sous-processus:

1. évaluer les besoins en qualité,
2. préparer la qualité,
3. installer la qualité,
4. maintenir la qualité.

La figure 39 montre le modèle du processus de gestion de la qualité et son interaction avec les autres processus.

3.3.4. Processus de gestion des approvisionnements

La gestion d'approvisionnement concerne les opérations suivantes:

- acquisition,
- manutention,
- conservation et conditionnement,
- transport des matières,
- liquidation rationnelle des stocks en surplus.

La fonction approvisionnement contribue en outre à la planification stratégique de l'entreprise. Elle engage, en général, au-delà de la moitié des revenus de l'entreprise. Par conséquent, une gestion efficace de cette fonction permet d'accroître significativement les profits de l'entreprise et d'en améliorer les performances.

On peut décomposer le processus d'approvisionnement en trois sous-processus:

1. approvisionner,
2. gérer le transport,
3. gérer les magasins.

La figure 40 montre le modèle du processus d'approvisionnement et son interaction avec les autres processus.

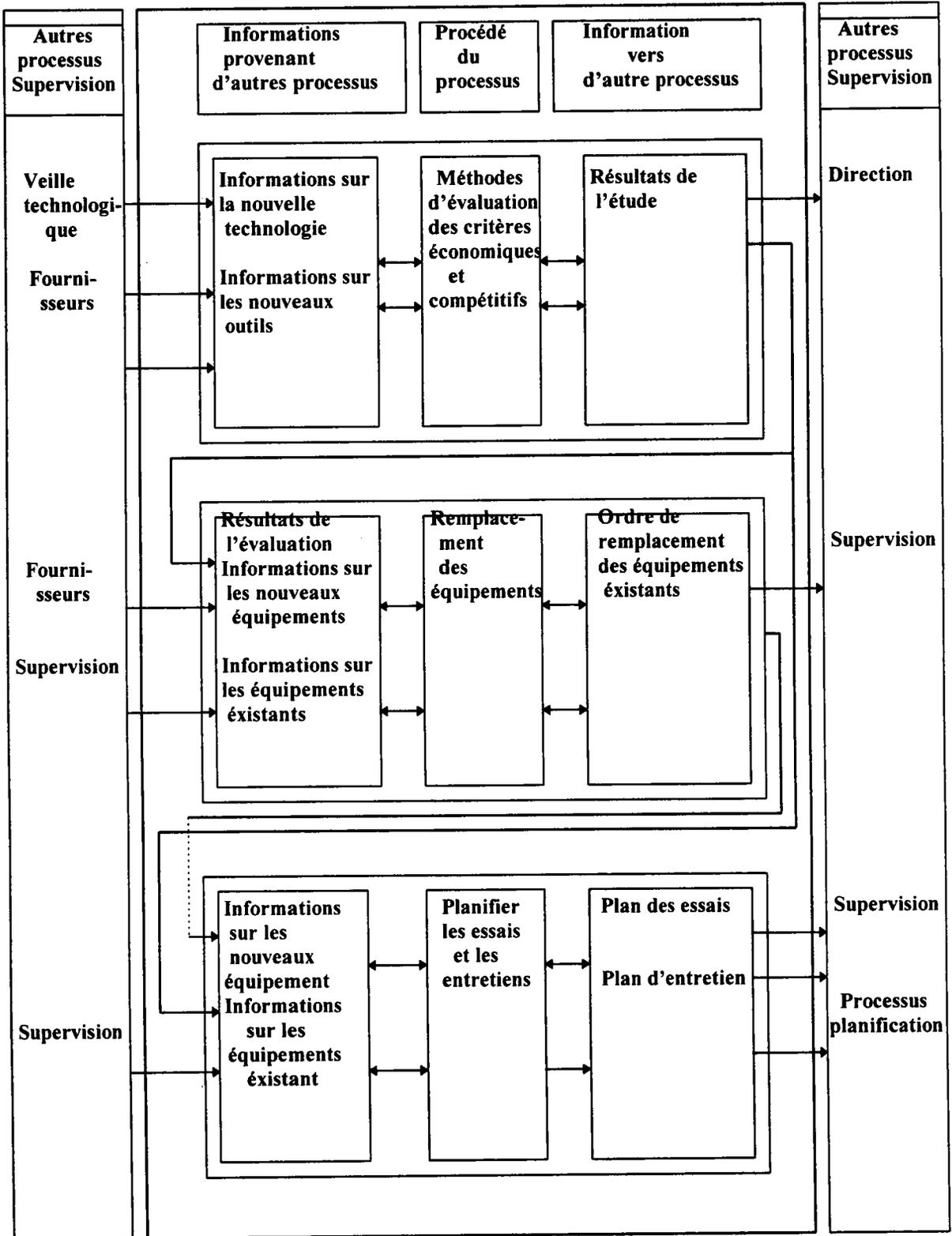


Fig. 37 Modèle du processus " Gérer les équipements "

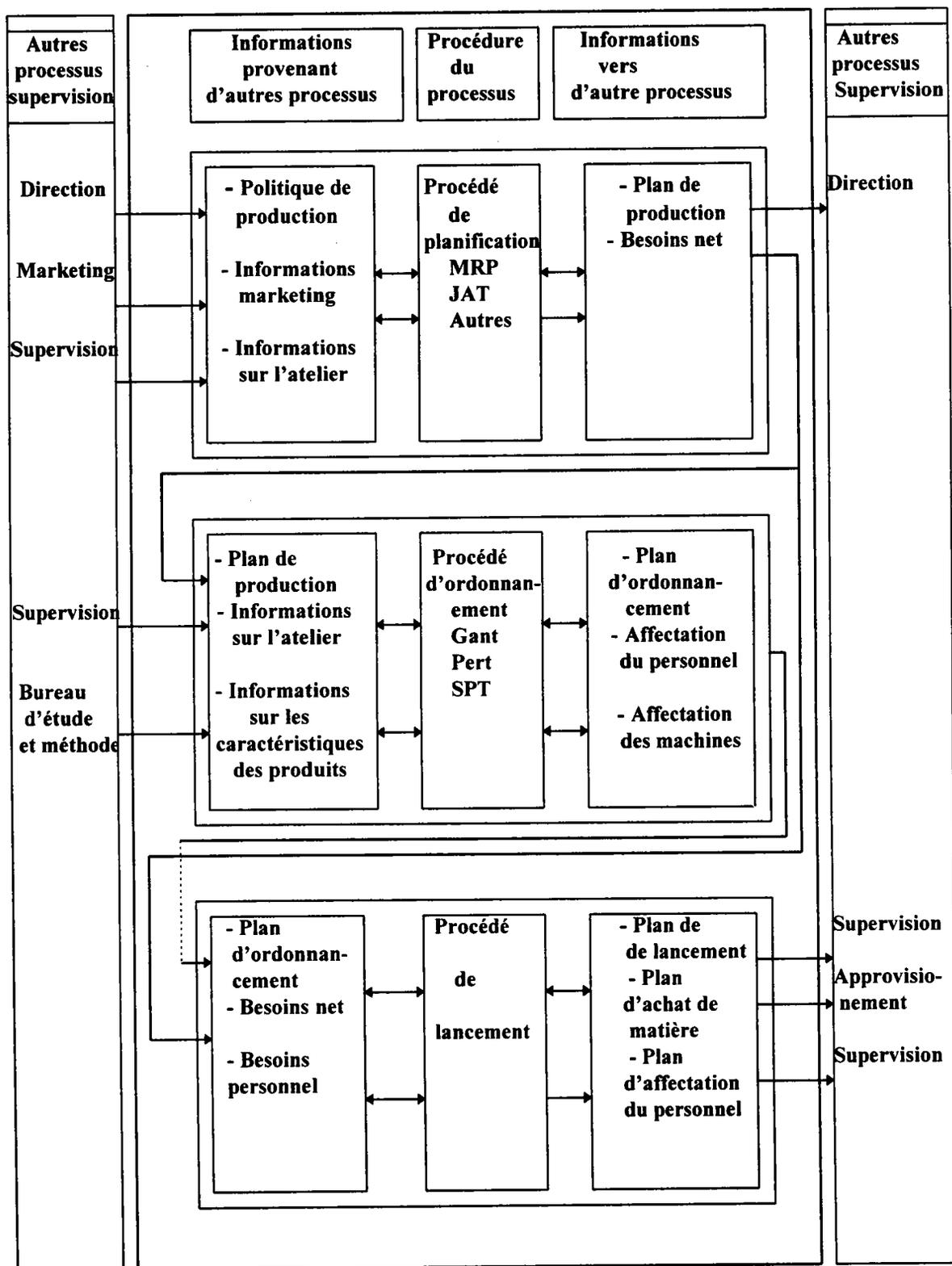


Fig. 38 Modèle du processus " Planification et contrôle de gestion "

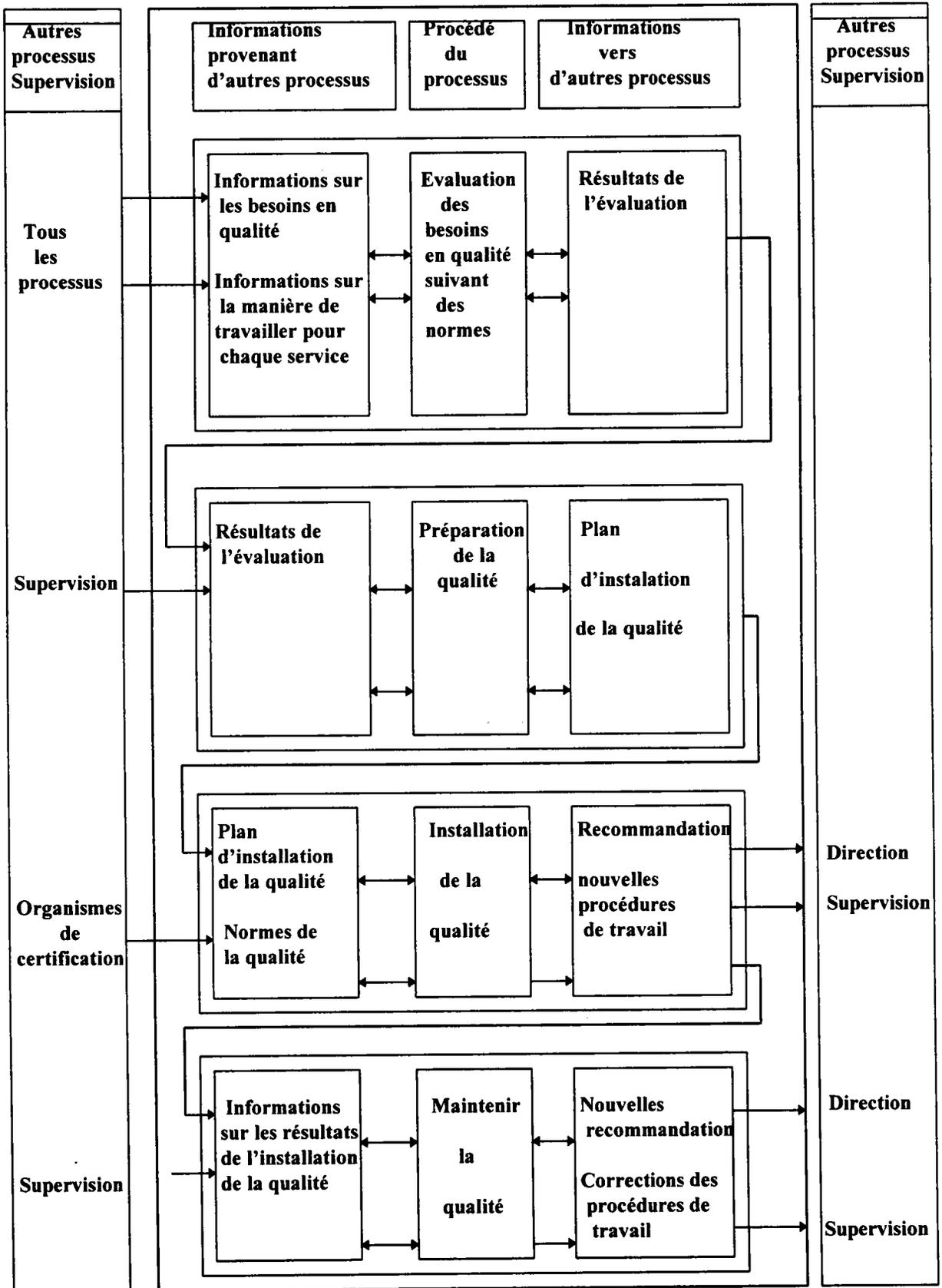


Fig. 39 Modèle du processus " Gérer la qualité "

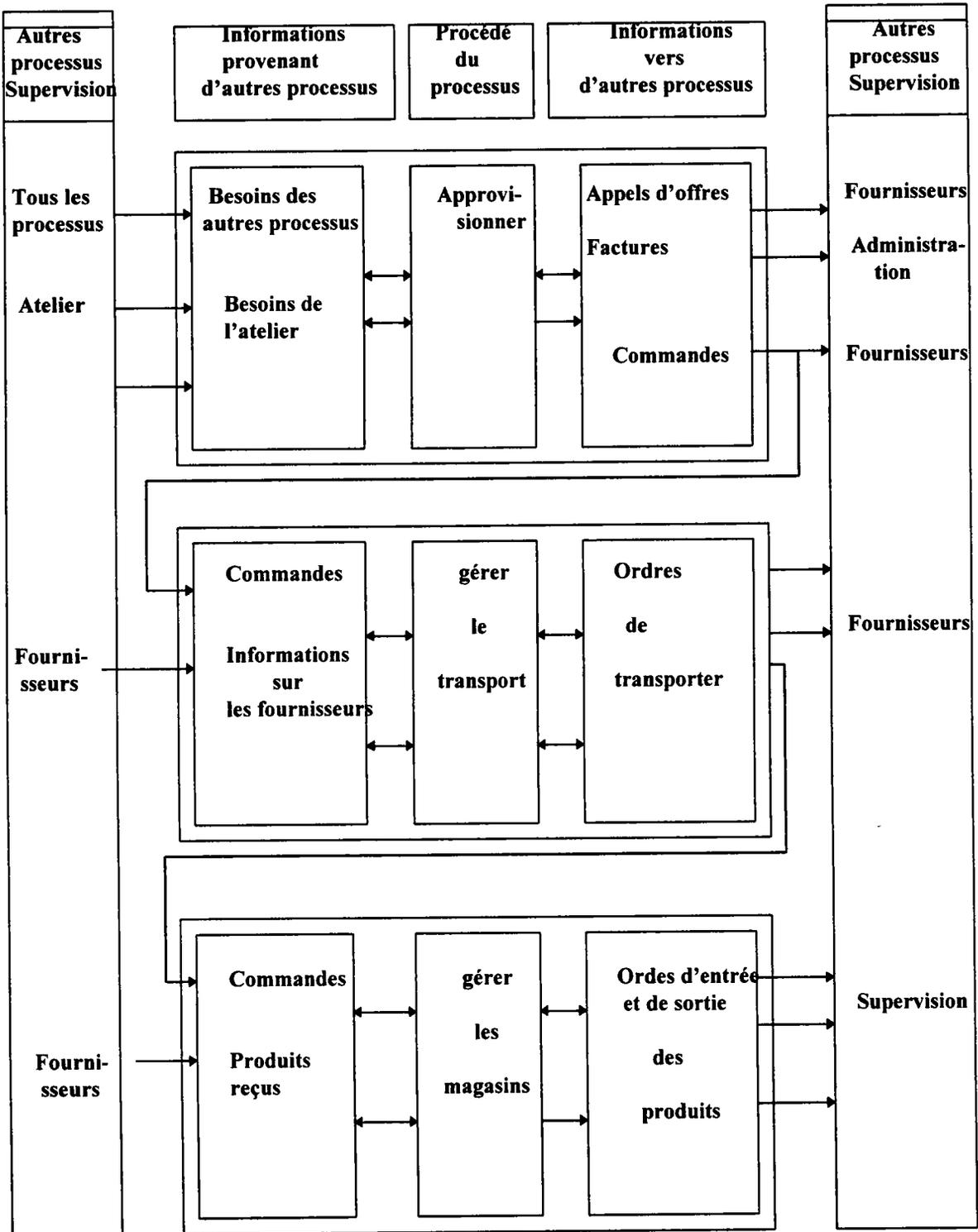


Fig. 40 Modèle du processus " Gérer les approvisionnements "

3.4. CONCLUSION

Par cette application nous avons montré comment modéliser un système de production en utilisant l'approche PFA.

Partant d'une analyse systémique nous avons décomposé le système de production en deux parties: la partie traitement de l'information et la partie traitement de la matière. L'ensemble des interactions entre le système de production et son environnement comporte deux types de flux: flux de matière et flux d'information (§3.1.1). L'approche hiérarchique permet de décomposer le système de traitement de l'information en quatre sous-processus principaux: processus de planification et de contrôle de gestion, processus de gestion de la qualité, processus d'approvisionnement et processus de gestion des équipements. L'utilisation de l'outil SADT permet de déterminer le flux d'information entre, d'une part, le système de production et son environnement, et d'autre part, entre les sous-systèmes de la production. La connaissance de ces flux est primordiale pour organiser la gestion de la production. En effet, l'un des grands problèmes des entreprises réside dans le manque de coordination entre les différents services. Par conséquent il faut déterminer l'ensemble des flux d'information afin de mieux coordonner les prises de décisions (§3.3).

D'autre part, nous avons déterminé l'ensemble des acteurs impliqués dans la production. La détermination avec précision des attributs de chaque acteur permet de bien définir les acteurs en vue d'une bonne utilisation des ressources de la production (§3.2.3).

Enfin, nous avons déterminé les relations entre la partie traitement de l'information et la partie traitement de la matière. Ceci permet de définir les fonctions que doit assurer un système de supervision pour exécuter les décisions prises par la partie traitement de l'information et pour contrôler les états des ressources.

4

SIMULATION DU MODELE PFA (PROCESSUS-FONCTIONS-ACTEURS)

Pour faire face aux exigences du marché actuel, les entreprises se doivent de reconsidérer leurs appareils de production. Ceci implique des investissements souvent trop importants. Il est donc important d'évaluer les conséquences des choix d'organisation avant d'engager une implantation réelle. La simulation sur ordinateur permet de reproduire certains aspects du fonctionnement dynamique d'un atelier dans le but de répondre aux interrogations sur les conséquences d'une décision donnée. On l'utilise en général pour évaluer et comparer les différents scénarios possibles.

Dans ce chapitre, nous allons étudier les différents modèles existants de simulation. Un exemple (académique) de fabrication de deux produits sera traité en utilisant le modèle PFA. Nous utiliserons le langage de simulation SIMAN pour réaliser un programme de simulation.

4.1. LA SIMULATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION

Le système de production est très complexe et sa modélisation à l'aide d'outils mathématiques est pratiquement impossible à l'heure actuelle. La simulation est un outil utile pour étudier un système de production et permet de présenter des solutions d'une manière accessible pour un gestionnaire. Elle est utilisée à plusieurs niveaux [WHI-87]. Au niveau opérationnel, on peut étudier à l'aide de la simulation les goulots d'étranglement [KIN-89]. Au niveau supérieur, elle permet de comparer les performances des différentes méthodes de planification et d'ordonnancement [CHA2-89] [CHE-87] [CRA-91] [HIC-88] [KIN-88] [NYE-88] [VIL-88] [WU-89]. De plus, la simulation permet d'estimer des facteurs difficiles à mesurer comme la flexibilité, la sensibilité ou la robustesse [CHA1-89] [EDG-88] [KUS-88].

4.1.1. LES MODELES DE SIMULATION: EVENEMENTS, ACTIVITES ET PROCESSUS

La production peut être continue ou discrète. Dans le contexte d'un système de production discret [BEL-83] définit, comme le montre la figure 41, trois approches possibles:

1. Approche par événement modélise le système sous forme d'algorithmes qui sont des successions d'événements.
2. Approche par activité modélise le système par type d'activité.
3. Approche par processus modélise une succession d'événements ou d'activités comme une entité prédéterminée appelée "processus".

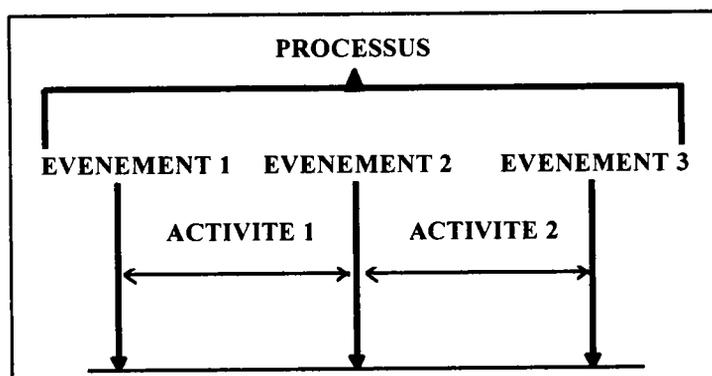


Fig. 41 Approche par Événement-Activité-Processus

4.1.2. LES LANGAGES DE SIMULATIONS

Il est souvent difficile d'utiliser des langages de programmation classiques pour simuler un système de production. En effet, ceci demande un effort de conception et de programmation très important. Néanmoins, on peut les utiliser pour optimiser des algorithmes d'ordonnancement.

Pour simuler un système de production, on utilise des langages spécifiques à la simulation (annexe 3). Ces langages comportent des modules qui gèrent un certain nombre d'opérations communes à toute simulation: entretien d'une horloge, gestion de l'échéancier des événements, fonctionnement en quasi-parallélisme des événements, génération des nombres aléatoires et manipulation de listes...[BEL-83].

Pour simuler une approche par événement on peut utiliser les langages suivants: SIMASCRIP II, GASPIV, GPSS FORTRAN... . Les langages CSL, HOCUS, CAPS, DRAFT simulent une approche par activité. La simulation par processus utilise les langages suivants: GPSS, SLAM, QGERT, SIMAN, PAWS, QNAP...[BEL-83].

4.2. SIMULATION DU MODELE PROCESSUS-FONCTION-ACTEUR

4.2.1. DONNEES DU PROBLEME

On se propose d'étudier la fabrication de deux produits finis appelés P₁ et P₂ obtenus par assemblage de sous produits S₁, S₂, S₃ et S₄. Ces derniers sont fabriqués à partir des composants C₁, C₂, C₃, C₄, C₅ et C₆. Les figures 43 et 44 donnent les nomenclatures de P₁ et P₂.

D'autre part, nous disposons dans l'atelier de fabrication des machines suivantes:

- deux fraiseuses,
- deux tours,
- une aléseuse,
- une brocheuse,
- une perceuse,
- un poste de soudage,
- un poste d'assemblage
- un poste de contrôle des produits bruts,
- un poste de contrôle final pour les produits P₁ et P₂.

La figure 42 montre que pour obtenir, par exemple, un sous-produit S₂ il faut assembler trois unités du composants C₂ et une unité du composant C₄.

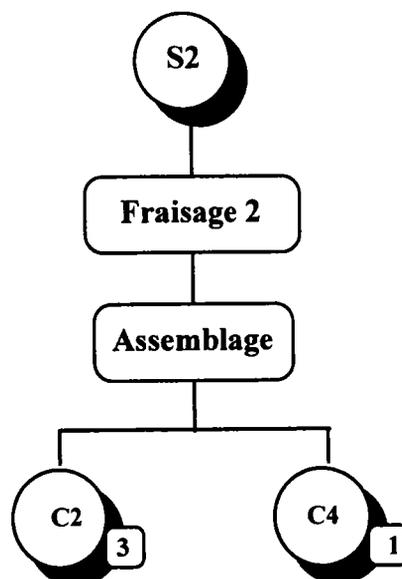


Fig. 42 Exemple d'assemblage (les nombres encadrés indiquent le nombre d'éléments nécessaires pour obtenir un produit de niveau supérieur)

Le bureau des méthodes détermine pour chaque machine les paramètres suivants:

- le temps unitaire: temps nécessaire pour réaliser une opération,
- la charge maximale: nombre maximal des pièces traitées par unité de temps,
- fréquence de changement d'outil: le nombre de pièces traitées par un outil avant l'usure,
- le temps de réglage des outils,
- fréquence de maintenance: nombre d'heures entre deux interventions de maintenance,
- le temps de maintenance: durée d'une opération de maintenance.

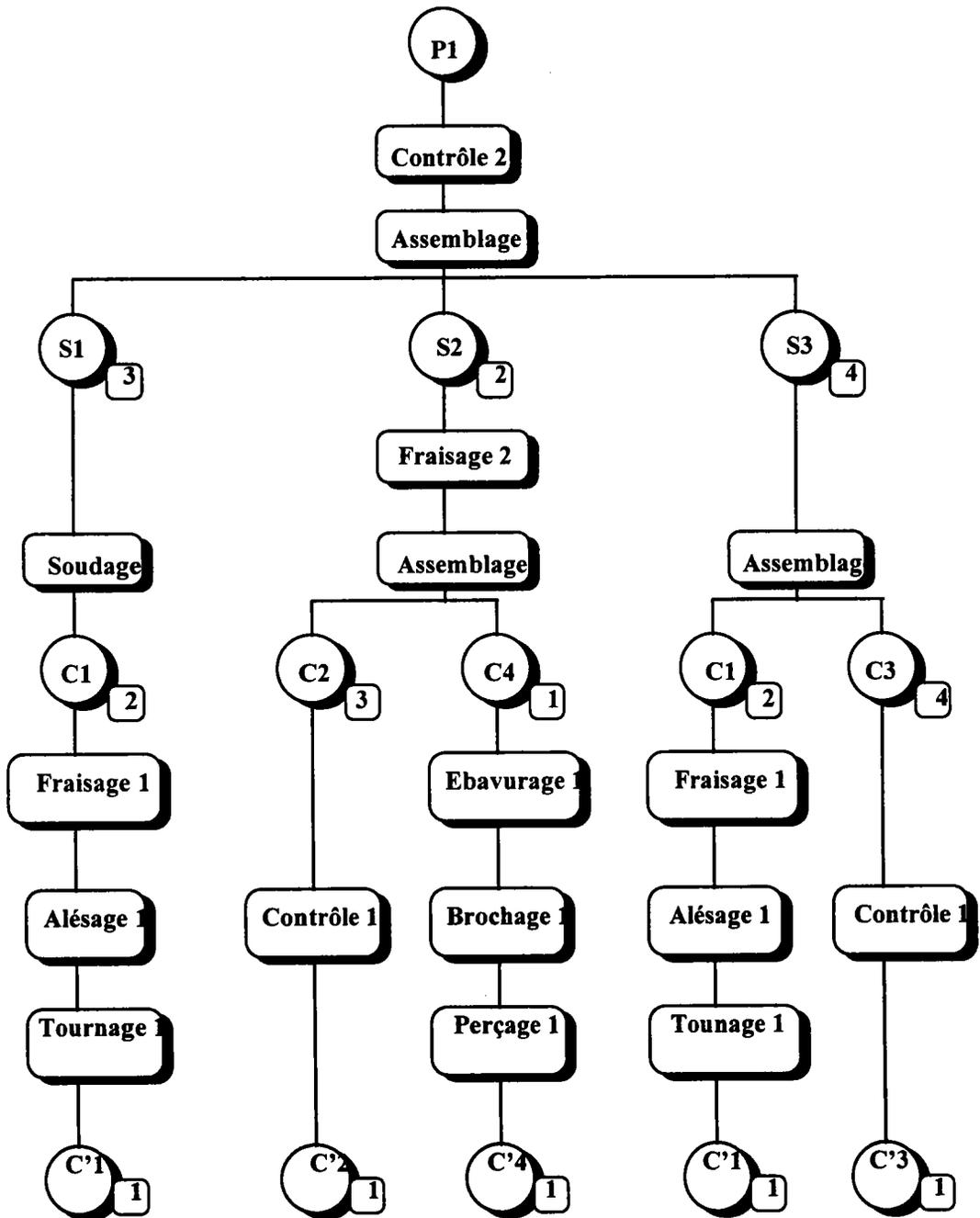


Fig. 43 Nomenclature de fabrication du produit P1

(les nombres encadrés indiquent le nombre d'unités de chaque constituant nécessaires à la fabrication d'une unité de produit fini dans lequel ils sont inclus)

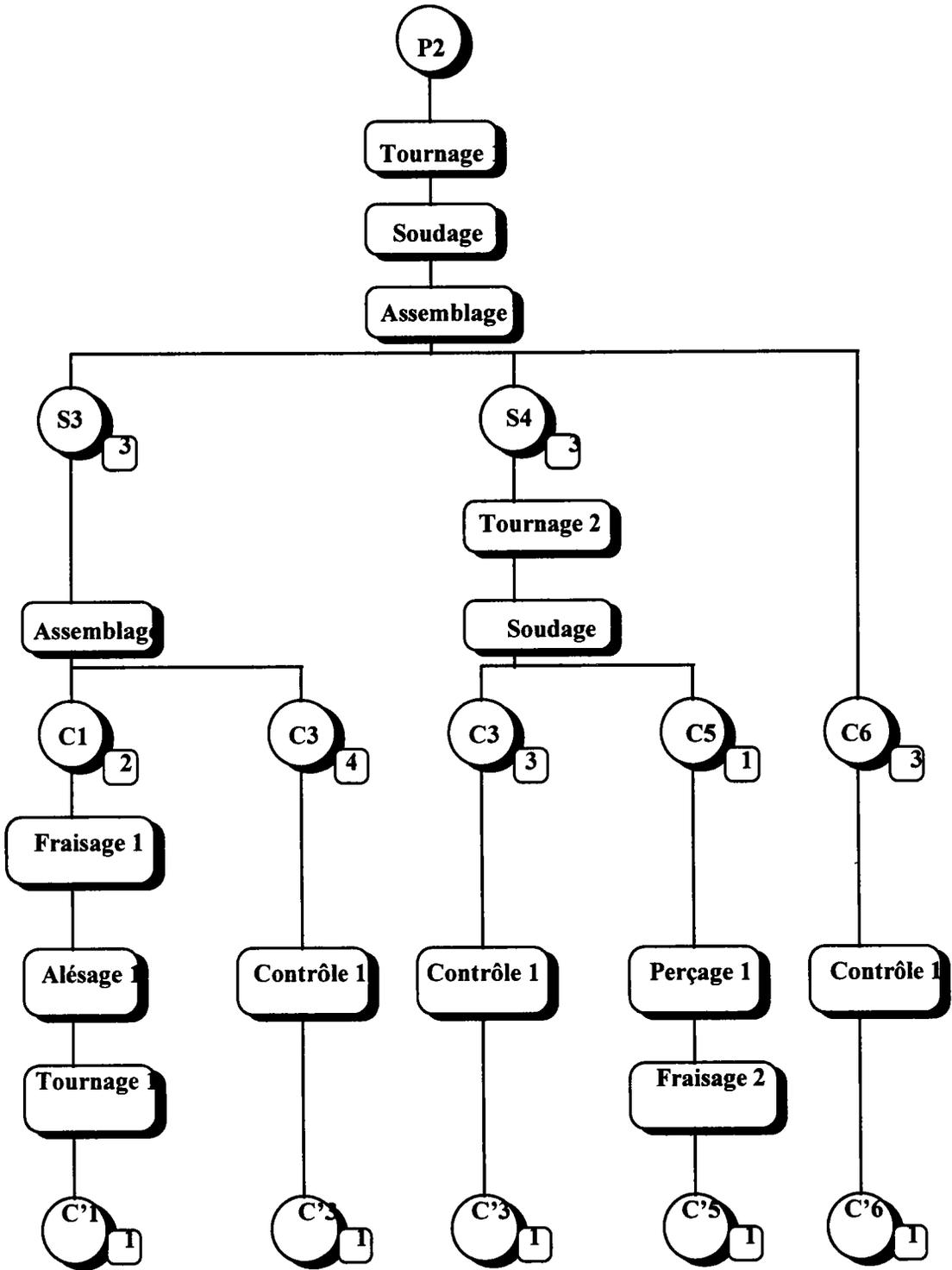


Fig. 44 Nomenclature de fabrication du produit P2
 (les nombres encadrés indiquent le nombre d'unités de chaque constituant nécessaires à la fabrication d'une unité de produit fini dans lequel ils sont inclus)

Ces paramètres sont utilisés pour calculer le temps d'obtention d'un lot et la quantité économique pour chaque produit. Dans notre application, on ne considère que le temps unitaire pour chaque opération, le temps d'obtention d'un lot et le nombre de pièce par lot d'un produit. Connaissant le temps total d'usinage d'une pièce et le nombre de pièces par lot, pour chaque produit, sous-ensemble ou composant, on calcule les délais d'obtention d'un lot. Ceci en utilisant la formule ($D = Tu * nb$) où D est le délai d'obtention d'un lot, Tu le temps d'usinage d'une pièce et nb le nombre de pièces par lot

Le tableau de la figure 45 donne les délais d'obtention pour chaque produit, sous-produit et composant.

Produits Sous-produits Composants	Délais d'obtention d'un lot en jour (j)	Stocks disponibles le premier jour
P1	1	20
P2	1	20
S1	2	20
S2	1	20
S3	0	60
S4	5	20
C1	3	20
C2	1	0
C3	1	40
C4	1	0
C5	0	0
C6	0	0

Fig. 45 Délais d'obtention et stocks des produits, sous-produits et composants

4.2.2. MODELISATION

Au premier chapitre nous avons montré, d'une part, que la production est un système complexe, et d'autre part, que l'intégration est nécessaire pour mieux gérer le système de production. Face à cette complexité, la personne qui veut modéliser un cas pratique, peut avoir deux attitudes différentes:

1. Il est conscient de l'intérêt de modéliser le système de production d'une manière globale en tenant compte de plusieurs aspects afin de réussir l'intégration du système. Dans ce cas, deux questions clés s'imposent:

- Par quoi commencer?
 - Quel outil utilisé pour concevoir un modèle intégré du système de production?
2. Il ne prend pas en compte le besoin d'intégration et se focalise sur un aspect du système de production. Ceci pour les raisons suivantes:
- Il est sensibilisé par l'intérêt de cet aspect,
 - Il possède un outil qui modélise une vision étroite du système.

L'approche PFA se place dans le premier cas, où on cherche à intégrer le système de production. Comme nous l'avons montré au deuxième chapitre, la réussite de l'intégration d'entreprise passe par la recherche d'un modèle intégré du système. Pour répondre aux deux questions clés (par quoi commencer? Quel outil?), l'approche PFA propose une méthodologie de modélisation en six phases. Le parcours de ces phases dépend de l'objectif recherché par l'entreprise. En effet, par la modélisation, l'entreprise peut chercher à réorganiser le système de production, à simuler le fonctionnement (stratégie) ou informatiser la production.

La première étape de la modélisation "PFA" consiste, par une étude systémique, à décomposer le système de production en deux sous systèmes: sous système de traitement de l'information et sous système de traitement de la matière. L'application de la première phase de modélisation, au cas proposé permet d'aboutir au schéma de la figure 46.

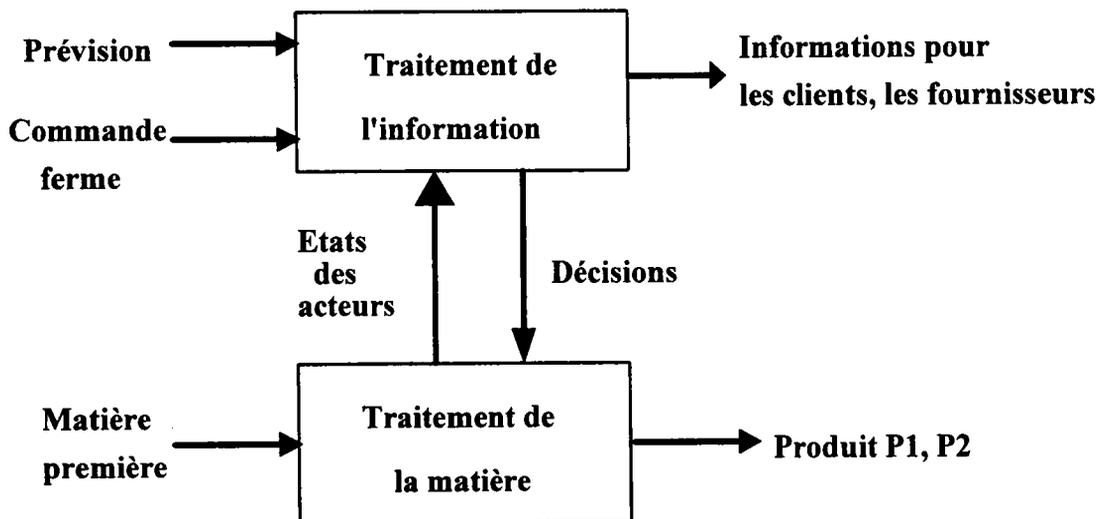


Fig. 46 Décomposition du système de production en sous-systèmes traitement de l'information et traitement de matière

La deuxième étape consiste à étudier le fonctionnement des deux systèmes qui compose le système de production.

Nous utilisons l'outil SADT pour décomposer le sous système de traitement de l'information en processus. Ainsi, on aboutit au modèle de la figure 47.

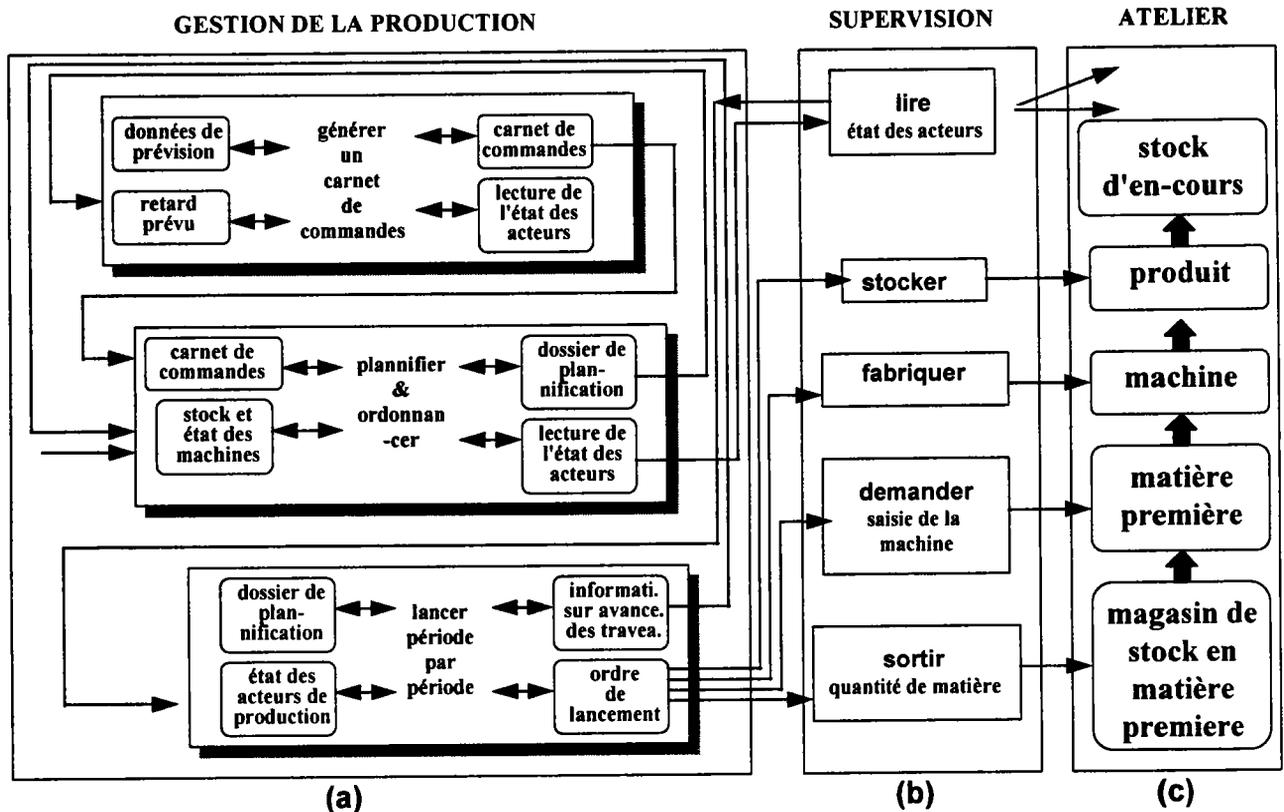


Fig. 47 Application du modèle Processus-Fonction-Acteur

Pour étudier les acteurs de production, l'approche PFA définit deux types de paramètres: paramètres d'identification et paramètre courants.

Les paramètres d'identification de chaque produit sont:

- le nom: C1, C2 ... P1 et P2.
- le code: les produits seront numérotés de 1 à 12 suivant l'ordre C1, C2, C3, C4, C5, C6, S1, S2, S3, S4, P1 et P2.
- la gamme de fabrication: opérations, durée et machine pour réaliser chaque opération, nomenclature...

Les paramètres courants de chaque produit sont:

- quantité commandée
- date de livraison,
- quantité lancée pour la journée actuelle,
- quantité fabriquée à un instant donnée t,
- stocks du produit.

Les paramètres d'identification de chaque machine sont:

- nom (Tour1, Tour2, Fraiseuse ...)

Les paramètres courants de chaque machine sont:

- états; occupée, libre, en panne...
- Durée de l'opération: dépend du produit qui occupe la machine.

L'étude du sous système de traitement de l'information montre que sa décomposition en processus génère les fonctions nécessaires fonctions de supervision et qui sont les suivants:

- Lire l'état des acteurs: pour pouvoir prendre une décision, les processus doivent connaître l'état des machines, les niveaux de stocks, la capacité de l'atelier, la disponibilité des opérateurs...
- Demander de saisir une machine
- Occuper une machine
- Fabriquer
- Stocker.

La troisième phase de la modélisation traite la vue informationnelle du système de production. Ainsi pour chaque processus, on étudie les cinq parties qui le compose:

1. les informations en provenance d'autres processus ou de l'extérieur du système de production,
2. les informations provenant des acteurs
3. l'algorithme de traitement de l'information
4. les décisions prises par le processus
5. les actions à réaliser sur les acteurs

La figure 2 montre que, pour notre cas, il y a trois processus:

1. générer un carnet de commande
2. planifier et ordonnancer
3. lancer la fabrication

Processus générer un carnet de commande:

- 1- informations provenant d'autres processus ou de l'extérieur:
 - commandes fermes
 - retard de fabrication durant la période précédente
- 2- état des acteurs
- 3- Algorithme de traitement de l'information:
 - saisir les commandes
 - vérifier l'état des acteurs
 - préparer un carnet de commande
- 4- informations vers d'autres processus:
 - carnet de commande à envoyer au processus "planifier et ordonnancer"
- 5- décision à transmettre aux acteurs: aucune

Processus "planifier et ordonnancer":

- 1- carnet de commande en provenance du processus "générer un carnet de commande"
- 2- état des acteurs
- 3- après lecture du carnet de commande et de l'état des stocks, appliquer la méthode MRP, puis ordonnancer
- 4- dossier de fabrication à envoyer au processus "lancer"
- 5- pas d'action sur les acteurs

Processus "Lancer"

- 1- Dossier de fabrication envoyé par le processus "Planifier et ordonnancer"
- 2- état des acteurs
- 3- Algorithme:
 - lire les commande jours par jours
 - pour chaque produit:
 - * sortir la matière première
 - * saisir une machine
 - * occuper la machine
 - * libérer la machine
 - * envoyé à la machine suivante
- 4- transmettre l'état d'avancement des travaux aux autres processus
- 5- actions sur les acteurs: déclencher les fonctions de supervision pour changer l'état des acteurs.

Lors de la deuxième phase de modélisation nous avons décomposé le sous système de traitement de l'information en utilisant l'outil SADT. Ce dernier permet de comprendre le fonctionnement du système étudié. Cependant, si besoin est, on peut utiliser d'autre aspect du système de production. Ainsi, l'outil GRAI permet d'étudier l'aspect décisionnel d'un système. Alors que les réseaux de PETRI pour étudier l'aspect dynamique. A titre indicatif, le schéma de la figure 48 donne un exemple de modélisation à l'aide de GRAI du processus "Planifier".

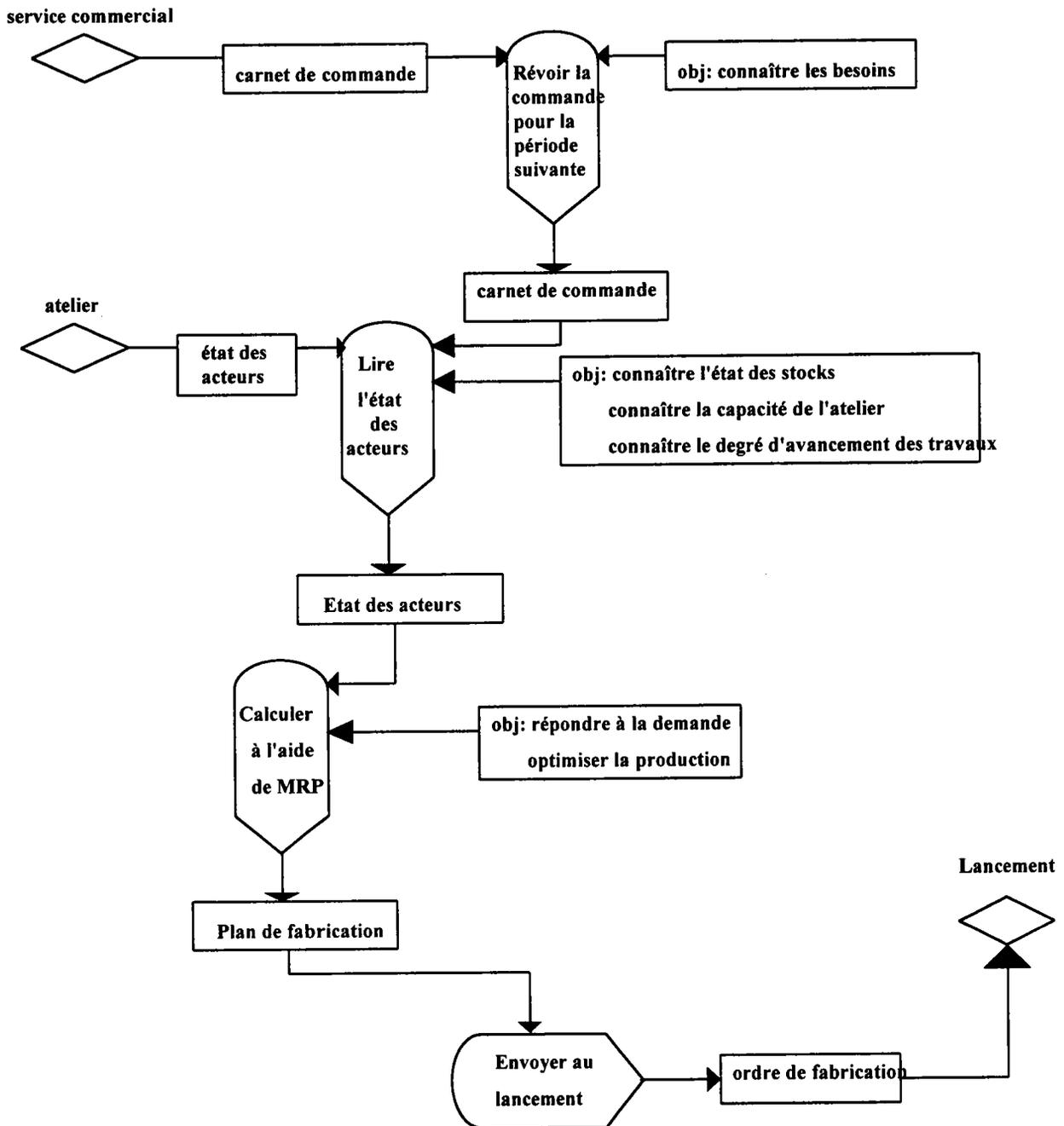


Fig. 48 Modélisation à l'aide de la méthode GRAI

Pour étudier les fonctions de supervision des acteurs, le GRAFCET est bien adapté car elles correspondent à l'aspect automatique du système de production. Ainsi la figure 47 montre que le processus "Lancer" déclenche les fonctions de supervision pour changer l'état des acteurs.

4.2.3. LA SIMULATION DU CAS PROPOSE

4.2.3. a. Modèle de simulation correspondant au modèle PFA

Le modèle présenté permet une grande facilité de simulation. En effet, chaque processus du modèle représente un sous programme. Les fonctions introduites dans le modèle proposé (PFA) représentent les fonctions habituellement fournies par la plupart des langages de simulation. Quant aux acteurs, ils correspondent aux stations de travail et aux objets circulant entre les différentes

stations et sont représentés plusieurs les langages de simulation. Les figures 49-50 donnent deux exemples d'utilisation du modèle PFA traduits en langages de simulation GPSS-Fortran [SCH-80] et SIMAN.

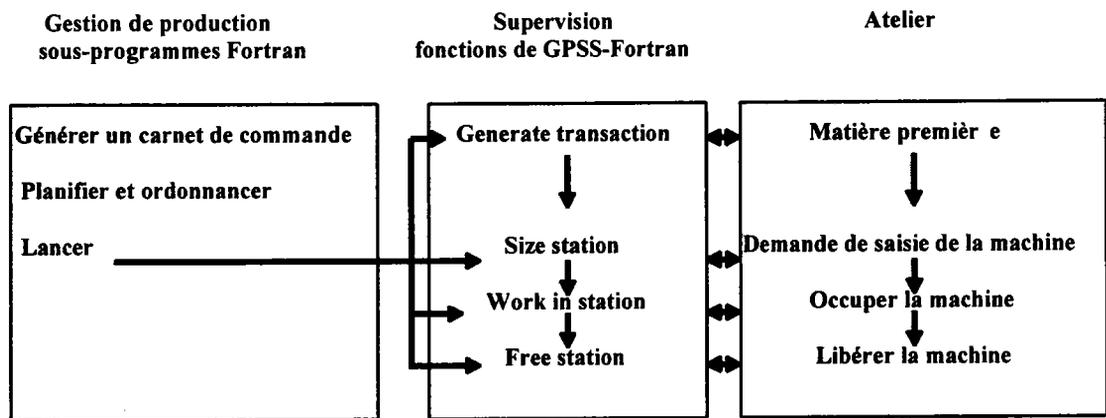


Fig. 49 Simulation du modèle Processus-Fonction-Acteur par GPSS-Fortran
transaction = produit et station = machine

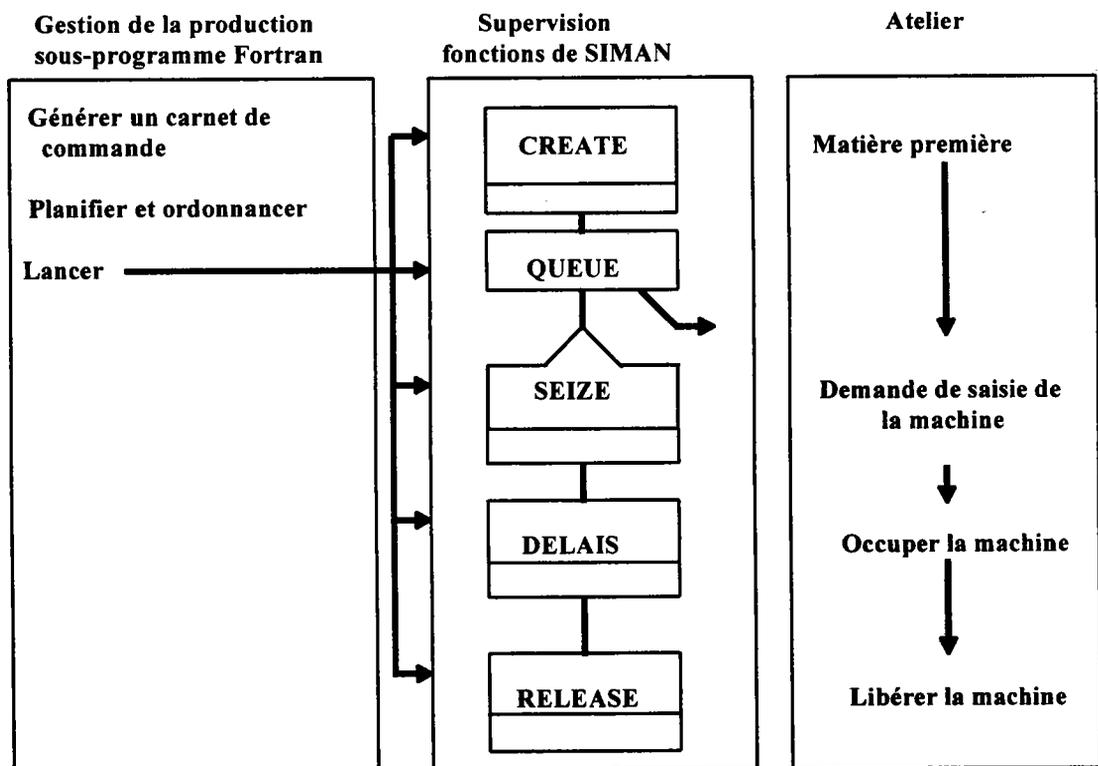


Fig. 50 Exemple de simulation du modèle Processus-Fonction-Acteur par SIMAN
Entité = produit et station = machine

4.2.3.b. Les processus

Nous avons mis en place les trois sous programmes suivants:

b.1. Sous programme " Générer un carnet de commande ": il permet de saisir un carnet de commande pour une période de vingt jours correspondant à la période de planification à court terme

comme le montre la figure 51. Cependant, on peut générer la demande suivant des lois de probabilité (exemple poisson). Pour cela il faut étudier la demande sur une période et déterminer la loi de probabilité correspondante.

Jours Produits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
P1																	50				
P2																					40

Fig. 51 Carnet de commande

b.2. Sous programme “ Planifier ”: On utilise la méthode M.R.P. pour planifier la fabrication. Ainsi, à partir du carnet de commande qui représente les besoins bruts (indépendants) en produits finis et les stocks, on calcule les besoins nets.

$$\text{Besoins nets} = \text{Besoins bruts} - \text{Quantités en stocks}$$

La différence entre la date de livraison et le délai d’obtention, pour chaque produit donne la date à laquelle il faut lancer un ordre de fabrication.

$$\text{Date (ordre de fabrication)} = \text{Date(de livraison)} - \text{Délai (obtention)}$$

La figure 52 montre un exemple de la méthode M.R.P. où:

- chaque colonne correspond à une journée de huit heures,
- la première ligne donne les valeurs des besoins bruts pour chaque constituant (BB),
- la deuxième ligne correspondant aux stocks (St),
- la troisième ligne donne les valeurs des besoins nets (BN),
- la quatrième ligne correspond aux ordres de fabrication (OF).

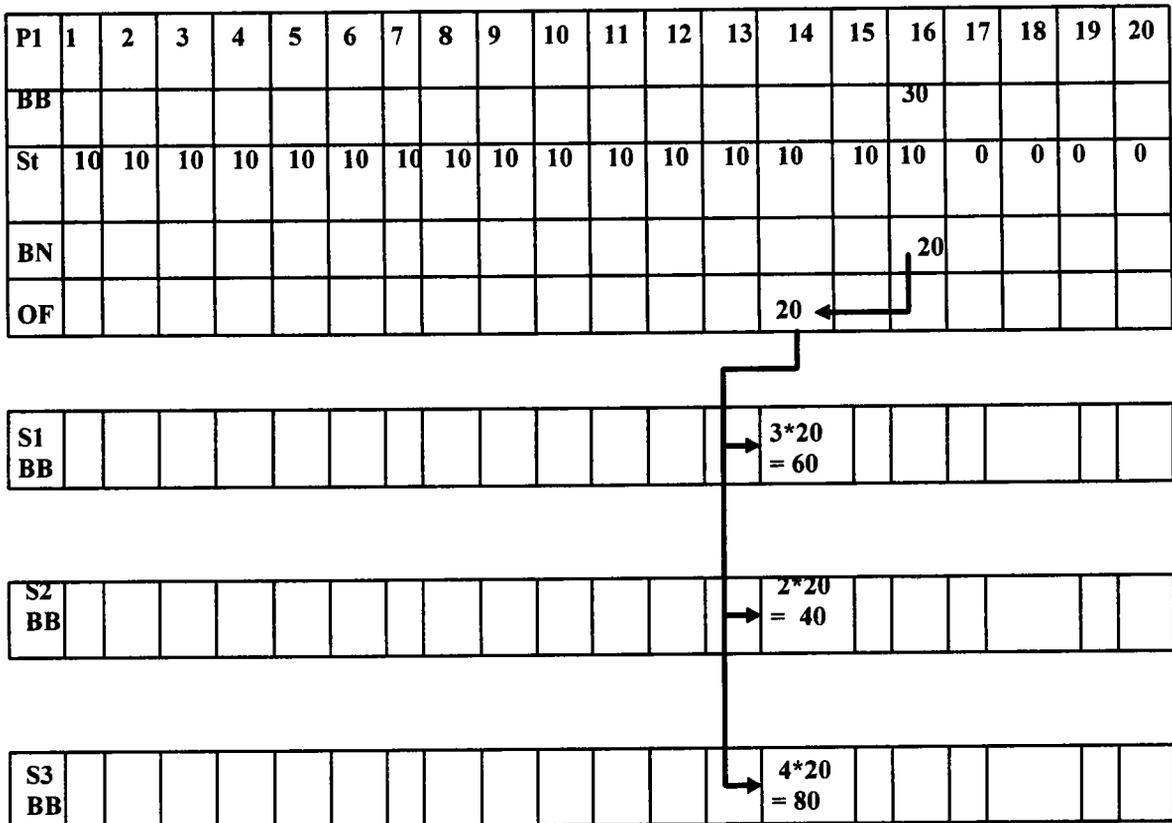


Fig. 52 Exemple de calcul M.R.P.

b.3. Sous programme “Lancer”: permet de lancer, pour chaque composant, les ordres de fabrication issues du sous programme MRP. Le lancement se fait jour par jour (huit heures) sur une période de vingt et trois jours.

4.2.3.c. Les fonctions

Un langage de simulation est une bibliothèque de sous-programmes écrits souvent en langages classiques (annexe 4). Ces sous-programmes correspondent aux fonctions de supervisions introduites par notre modèle (PFA). En effet, la fonction “Saisir une machine”, par exemple, correspond à la fonction “SEIZE”, dans le cas des langages GPSS-Fortran [SCH-73] et SIMAN. (annexe 3).

4.2.3.d. Les acteurs

Chaque langage de simulation comporte deux types d’entités:

1. une entité ressource: elle correspond à une machine,
2. une entité produit: elle correspond aux objets circulants entre les entités ressources.

les acteurs définis par le modèle correspondent dans tous les langages de simulation, aux entités ressources et aux entités produits. En effet, pour GPSS-Fortran, le produit correspond à une “Transaction” et les machines sont représentées par des “Stations”. De même pour le langage SIMAN où le produit est représenté par une “Entité” et la machine par une “Station”.

4.2.3.e. Le programme

Le développement d'une application SIMAN passe par l'élaboration de deux modèles comme le montre la figure 53:

1. le modèle programme,
2. le modèle de données.

Ces deux modèles sont liés (link) pour donner un modèle exécutable. L'annexe 5 donne le modèle programme et le modèle données correspondants à notre application.

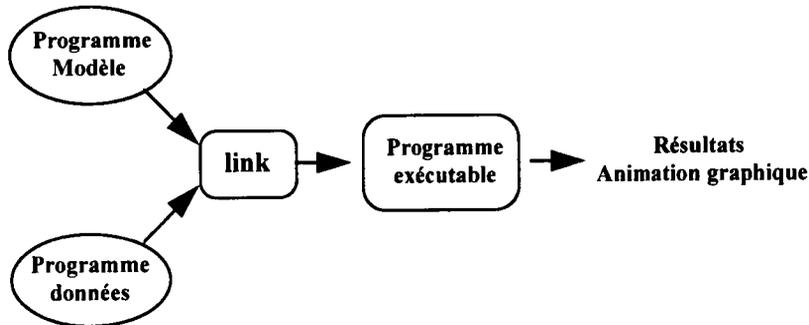


Fig. 53 Structure d'un modèle "SIMAN"

4.2.4. RESULTAT DE LA SIMULATION

4.2.4.a. Résultats du sous programme M.R.P.

L'exécution du sous programme M.R.P. génère les ordres de fabrication présentés dans le tableau de la figure 54.

Jours Pièce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
P1																	30						
P2																				20			
S1													70										
S2														40									
S3																60			40				
S4														40									
C1											120	120				80							
C2													120										
C3												80			240			160					
C4														40									
C5														40									
C6																			60				

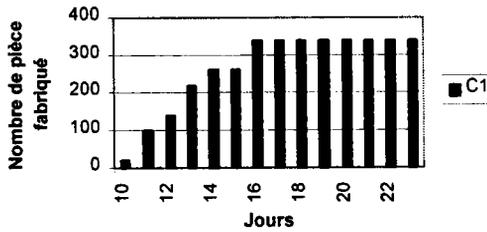
Fig. 54 Résultat du sous-programme M.R.P. : Ordres de fabrication

4.2.4.b. Suivi de fabrication des produits et leurs composants

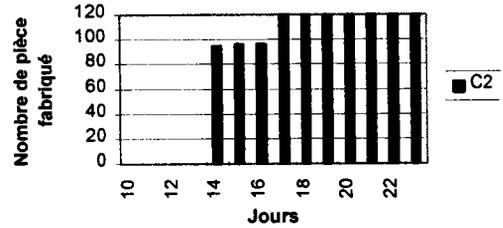
Les figures 55 et 56 donnent le suivi de fabrication des produits et de leurs composants durant la simulation. L'analyse des résultats indique qu'il y a eu un retard de fabrication du produit P2. En effet, une demande de 40 unités de P2 était prévue pour le vingtième jour; or à cette date, seule 30 unités ont été fabriquées. Ce retard est dû soit au surcharge des postes fabriquant P2 ou aux retards de ses composants. La première hypothèse est fausse car à cette date la plupart des machines sont libérées puisque tous les composants ont été déjà fabriqués et seule subsiste le composant S4 qui est en retard de fabrication. La deuxième hypothèse est donc la plus probable. Or l'analyse des résultats des composants de S4 (C3 et C5) montre qu'ils ont été fabriqués à temps. Le problème réside donc, dans la fabrication de S4. Pour résoudre ce problème, il faut revoir les paramètres du composant S4.

Temps mn	Jours	C1	C2	C3	C4	C5	C6	S1	S2	S3	S4	P1	P2
0	10	20	0	40	0	0	0	0	0	60	20	20	20
480	11	98	0	40	0	0	0	20	20	60	20	20	20
960	12	140	0	40	0	0	0	20	20	60	20	20	20
1440	13	218	0	120	0	0	0	20	20	60	20	20	20
1920	14	260	95	120	23	40	0	34	42	60	20	20	20
2400	15	260	96	215	40	40	0	46	52	60	20	20	20
2880	16	338	96	311	40	40	0	58	52	107	20	39	20
3360	17	340	120	360	40	40	0	70	60	120	20	43	20
3840	18	340	120	455	40	40	0	82	60	120	20	47	20
4320	19	340	120	520	40	40	31	90	60	160	22	50	23
4800	20	340	120	520	40	40	60	90	60	160	31	50	30
5280	21	340	120	520	40	40	60	90	60	160	43	50	34
5760	22	340	120	520	40	40	60	90	60	160	55	50	38
6000	23	340	120	520	40	40	60	90	60	160	60	50	40

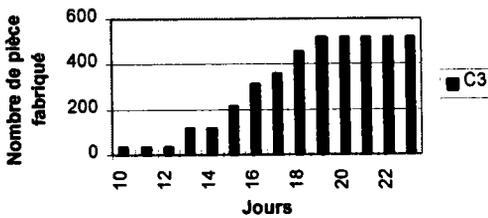
C1



C2



C3



C4

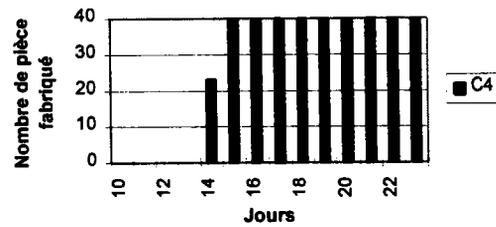


Fig. 55 Suivi de fabrication

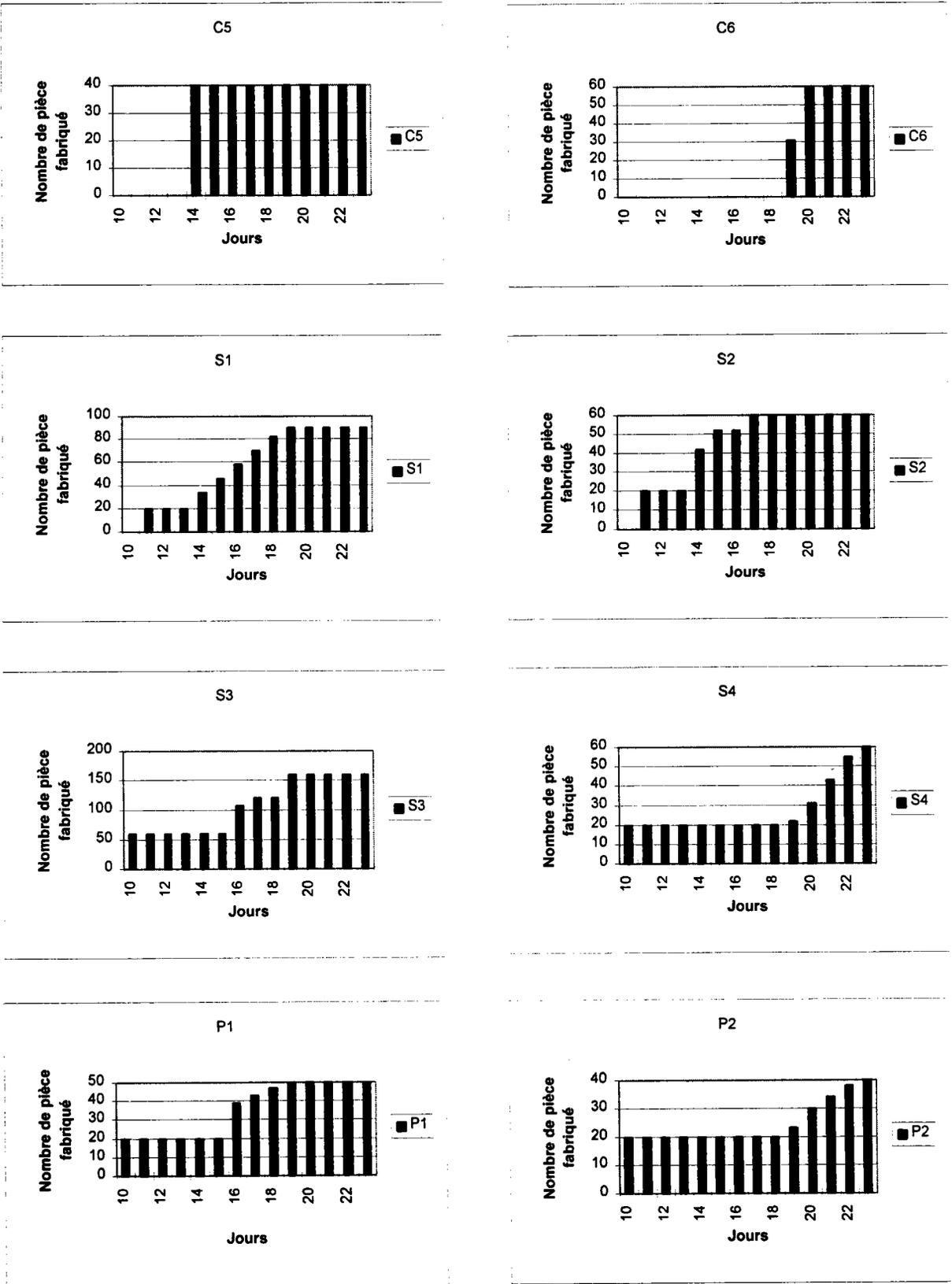


Fig. 56 Suivi de fabrication

4.2.4.c. Les conditions d'utilisation des machines

L'un des principaux avantages des langages de simulation réside dans la multitude des données de fabrication et d'utilisation des ressources qu'il peut générer. En plus, ils permettent de réaliser un ensemble de traitements statistiques sur les résultats de la simulation afin de fournir à l'utilisateur des indicateurs pertinents pour une bonne analyse. La figure 57 donne les paramètres suivants:

- **Moyenne:** c'est le taux moyen d'utilisation de la machine. Ainsi, le poste de soudage et le poste de contrôle 1 sont les plus utilisés. Ceci est en accord avec le retard de fabrication de S4 car ce dernier est obtenu par soudage.
- **Variation:** c'est le coefficient de variation qui correspond à la vitesse de demande de la machine. Pour une machine occupée d'une manière régulière ce coefficient est faible, alors que pour une machine qui subit une demande très variable ce facteur est important. Les résultats de la simulation indiquent que les machines ébavureuse et tour 2 subissent une demande très variable (instable) alors que les machines soudage et contrôle 1 subissent une demande stable dans le temps.
- **Minimum:** c'est le nombre minimum de produits qui ont occupé la machine en même temps. Le nombre zéro indique que la machine a été au moins une fois libre.
- **Maximum:** c'est le nombre maximum de produits qui ont occupé la machine en même temps. Dans notre cas, on ne considère que les machines qui ne peuvent traiter qu'un produit à la fois.
- **Valeur finale:** le nombre de produit qui reste dans la machine à la fin de la simulation. Dans notre cas, à la date 6000 mn (23^{ème} jours) il ne reste aucun produit dans les machines.
- **Compteurs:** indiquent le nombre de pièces fabriquées durant toute la simulation.

SIMAN IV - Licence #9310673

Univ. Paris Val De Marne

Rapport de Réplication 1 sur 1

Projet: SHAP₂E

Date d'exécution : 3/15/1995

Analyste: Nour Eddine

Date de révision : 3/15/1995

Réplication terminée au temps : 6000

VARIABLES DISCRETES

Identificateur	Moyenne	Variation	Minimum	Maximum	Valeur finale
Utilisation Tour 1	.23993	0.020415	.00000	1.0000	.00000
Utilisation Tour 2	.26653E-01	0.061252	.00000	1.0000	.00000
Utilisation Fraiseuse	.24008	0.020409	.00000	1.0000	.00000
Utilisation Fraiseuse	.73331E-01	0.036928	.00000	1.0000	.00000
Utilisation Soudage	.72984	0.011705	.00000	1.0000	.00000
Utilisation Assemblage	.24416	0.020238	.00000	1.0000	.00000
Utilisation Contrôle 1	.60001	0.012909	.00000	1.0000	.00000
Utilisation Contrôle 2	.33330E-01	0.54775	.00000	1.0000	.00000
Utilisation Aléseuses	.36020	0.16662	.00000	1.0000	.00000
Utilisation Ebavureuse	.13355E-01	0.86533	.00000	1.0000	.00000
Utilisation Brocheuse	.13322	0.27398	.00000	1.0000	.00000
Utilisation Perceuse	.33368	0.54744	.00000	1.0000	.00000

COMPTEURS

Identificateur	Compte Limite
S1	90 Infinie
S2	60 Infinie
S3	160 Infinie
S4	60 Infinie
P1	40 Infinie
P2	20 Infinie

Durée Simulation : 0 min(s) 20 sec(s)

Simulation terminée.

Fig. 57 résultats de la simulation

4.3. CONCLUSION

L'application de la méthodologie proposée, pour un cas concret, permet d'aboutir à un modèle Processus-Fonctions-Acteurs (§4.2.2). L'intérêt de ce dernier réside dans l'utilisation de formalismes similaires à ceux des langages de simulation existants. Ainsi, le passage du modèle PFA à un modèle de simulation se fait rapidement et aboutit directement à un algorithme bien structuré.

D'autre part, nous avons pu voir l'intérêt de la simulation qui permet de fournir des informations pertinentes sur le fonctionnement de l'atelier. Celles-ci sont présentées d'une manière très simple et précis (§4.2.4.c)

L'analyse des résultats montre l'intérêt de la simulation pour évaluer le plan directeur de production. De plus la simulation donne des ratios pertinents sur l'utilisation des ressources comme le taux d'occupation des machines et des files d'attente. Ces paramètres sont utiles pour réguler les flux dans un atelier et éviter les goulots d'étranglement (§4.2.4.b).

5

APPLICATION D'UN CAS INDUSTRIEL

5. 1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

La société ATTI est une filiale du groupe SATT. Fondée en 1983, elle est spécialisée dans le traitement thermique à façon, elle peut donc être assimilée à une société de service dans un contexte de haute technologie.

5.1.1. Le traitement thermique

Le traitement thermique est une opération visant à modifier les caractéristiques structurales de pièces en alliages à base de fer, cuivre ou aluminium afin de leur conférer les caractéristiques mécaniques aptes à leur emploi. L'obtention de ces caractéristiques est évaluée principalement à partir de la mesure de la dureté et éventuellement par la détermination de la profondeur de traitement.

On peut distinguer deux grandes familles de traitements:

1. les traitements dans la masse comme:

- la trempe: chauffer une pièce et la refroidir suffisamment rapidement afin de lui conférer une structure de trempe avec pour conséquence une augmentation de la dureté.
- l'hypertrempe: chauffer une pièce et la refroidir rapidement à l'eau, à l'huile, ou à l'azote dans le but est d'obtenir une structure homogène présentant des propriétés particulières telles que l'inoxidabilité et la ductilité.
- le recuit: chauffer une pièce,; ayant été soumis à des contraintes mécaniques ou thermiques, et la refroidir lentement pour ramener sa structure vers un état d'équilibre.

2. les traitements superficiels comme:

- la cémentation: c'est un traitement thermochimique de diffusion réalisé par voie gazeuse à haute température pour des pièces soumises à des contraintes de fatigue et/ou d'usure.
- la carbonisation: basée sur le principe de la cémentation, la carbonituration enrichi la surface des pièces non seulement en carbone mais aussi en azote ce qui a pour effet d'induire des contraintes de compression supérieures à celles provoquées par la cémentation.
- la nitruration: traitement réalisé à basse température qui consiste à faire diffuser de l'azote dans la couche superficielle des pièces en acier pour augmenter leurs aptitudes de résistance à l'usure, à l'abrasion.

5.1.2. la clientèle

Le travail est fait essentiellement à la commande sur des délais très courts (entre 24 heures et 1 semaine). Les commandes peuvent être séparées en deux types:

1. les traitements de série portant sur des quantités importantes et à fréquences régulières, qui concernent tous les types de technologie
2. les traitements de lots unitaires représentant environ 80% des commandes traitées et concernant également tout type de technologie.

Des tournées de ramassage et de livraison sont organisées. Ces tournées conditionnent les délais disponibles au traitement.

5.2.3. Description du matériel et du personnel

L'ensemble du parc machine de ATTI est constitué de fours à charge. De plus, ATTI dispose d'une installation de type "centre de traitement" capable d'effectuer toutes les opérations (chauffage, trempe, lavage, revenu) en totale autonomie.

Le personnel de ATTI est composé de:

- Responsable atelier: 1 à la journée / 2 en 2 x 8
- Contrôleurs: auto-contrôle
- Conducteurs fours: 10 en 5 x 8
- Préparateurs: travail réalisé par conducteurs
- Réception / expédition: 1 à la journée
- Maintenance: 1 à la journée
- Transport: 3 à la journée.

Les services méthodes et qualité sont centralisées à la maison mère.

5.2. MODELISATION DU SYSTEME DE PRODUCTION DE ATTI

Les évolutions incessantes des techniques d'usinage et la nécessité d'améliorer continuellement leur productivité, amènent les clients de ATTI à compléter leurs exigences vis à vis de leur sous-traitants. D'une part, les critères de productivité, de fiabilité, de qualité, de délais de traitement thermiques, de maîtrise des déformations et surtout de maîtrise des coûts deviennent de plus en plus sévères. D'autre part, des notions subjectives telles que l'aspect des pièces et leur conditionnement après traitements prennent une part importante dans le système concurrentiel actuel. Malgré l'outil de production de pointe dont dispose ATTI et une organisation lui ayant permis de satisfaire les exigences de la norme ISO 9002, la gestion rigoureuse de ces nouveaux paramètres doit aujourd'hui être prise en compte à tous les niveaux de l'organisation.

Dans le cadre de cette démarche d'amélioration du fonctionnement de l'entreprise, le modèle proposé permet de:

- détecter les interactions entre l'entreprise et ses clients
- mettre en évidence le flux d'information et le flux de matière
- maîtriser le traitement d'information et le traitement de la matière
- mettre en évidence l'aspect organisationnel de l'entreprise
- traiter l'aspect ressources et réalisation de l'entreprise.

5.2.1. Première phase de la modélisation

La première phase de la modélisation consiste à faire une étude systémique du système étudié. Ceci, dans le but de déterminer ses interactions avec son environnement. Cette étape est primordiale pour bien modéliser le système. Tout oubli dans cette phase peut biaiser la modélisation. Une première étape consiste à définir deux types de flux: flux d'information et flux de matière. Ceci nous permet de réaliser une première décomposition du système en deux sous-système: sous-système de traitement de l'information et sous-système de traitement de la matière (Fig. 58).

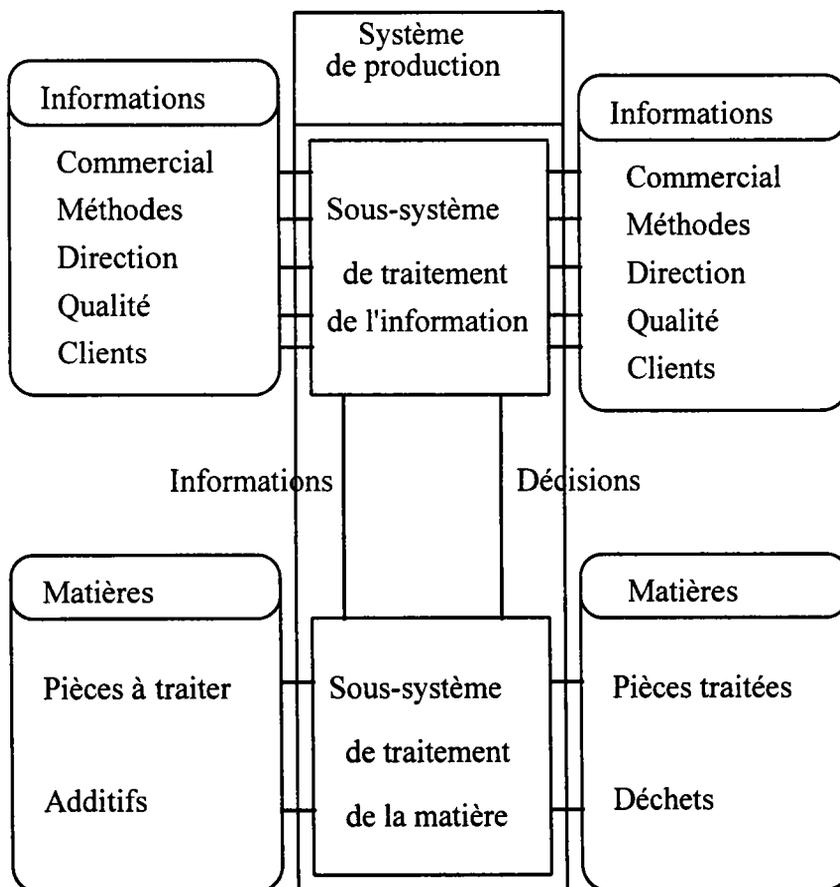


Fig. 58 décomposition du système de production en flux d'information et flux de matière

Il est à noter que les services méthodes et qualité sont centralisées à la maison mère. C'est pourquoi nous les considérons comme environnement du système de production de la société ATTI.

L'étude systémique consiste à déterminer les flux d'informations et de matière traversant le système de production.

5.2.1.a. Etude des flux d'information

La figure 58 montre que l'environnement du système de production comprend les services de direction, commercial, qualité, méthode et les clients. Dans ce qui suit, nous allons déterminer les flux entrants et sortants du sous-système de traitement de l'information.

Informations en provenance du service commercial:

- Fichiers: Clients, Tarifs et offres de pris
- Prix
- Délai

Informations transmises au service commercial:

- Rien

Informations en provenance du service méthode:

- Fichiers: Traitements, Gammes, Articles
- Choix traitement et Gamme
- Gamme superviseur Ateliers
- Gamme de revenu

Informations transmises au service méthodes:

- Commandes incomplètes ou hors standards
- Résultats des essais
- Résultats contrôle
- Ordre de Fabrication

Informations en provenance du service qualité:

- Non-conformité niveau 2
- Décision de contrôle

Informations transmises au service qualité:

- Retours clients
- Ordre de fabrication
- Fiche de Non Conformité
- Fiche retour pour archivage
- Enregistrement des procédés pour archivage:
- Non conformité niveau 2
- Résultats contrôle

Informations en provenance de la direction:

- Eléments de facturation
- Fiabilité client

Informations transmises à la direction:

- Heures Fours
- Facturation

Informations en provenance des clients:

- Commandes

Information transmises aux clients

- Bon de livraison
- Numéro du tournée

Les processus qui traitent l'information sont:

- Recevoir
- Ordonnancer
- Traiter
- Contrôler
- Expédier.

5.2.1.b. Etude des flux de matière

Le site ATTI travaille essentiellement à la commande sur un délai très court (entre 24 heures et 1 semaine). Des tournées de ramassage et de livraison sont organisées au départ de chaque site. Ces tournées conditionnent les délais disponibles au traitement.

La matière qui rentre dans le sous-système de traitement de la matière comprend les éléments suivantes:

- les pièces qu'il faut traiter
- les huiles de trempes ou autres additifs nécessaires pour réaliser une opération donnée.

Ce flux ne représente pas de difficulté majeurs de gestion. En effet, il n'y aucune prévision pour la commande. Cependant, il faut gérer la gestion des additifs.

5.2.2. Deuxième phase de la modélisation

La deuxième phase de la modélisation consiste à faire une étude fonctionnelle du système de production.

5.2.2.a. Etude fonctionnelle des processus

A l'aide de l'outil SADT on décompose le sous-système de traitement de l'information en processus.

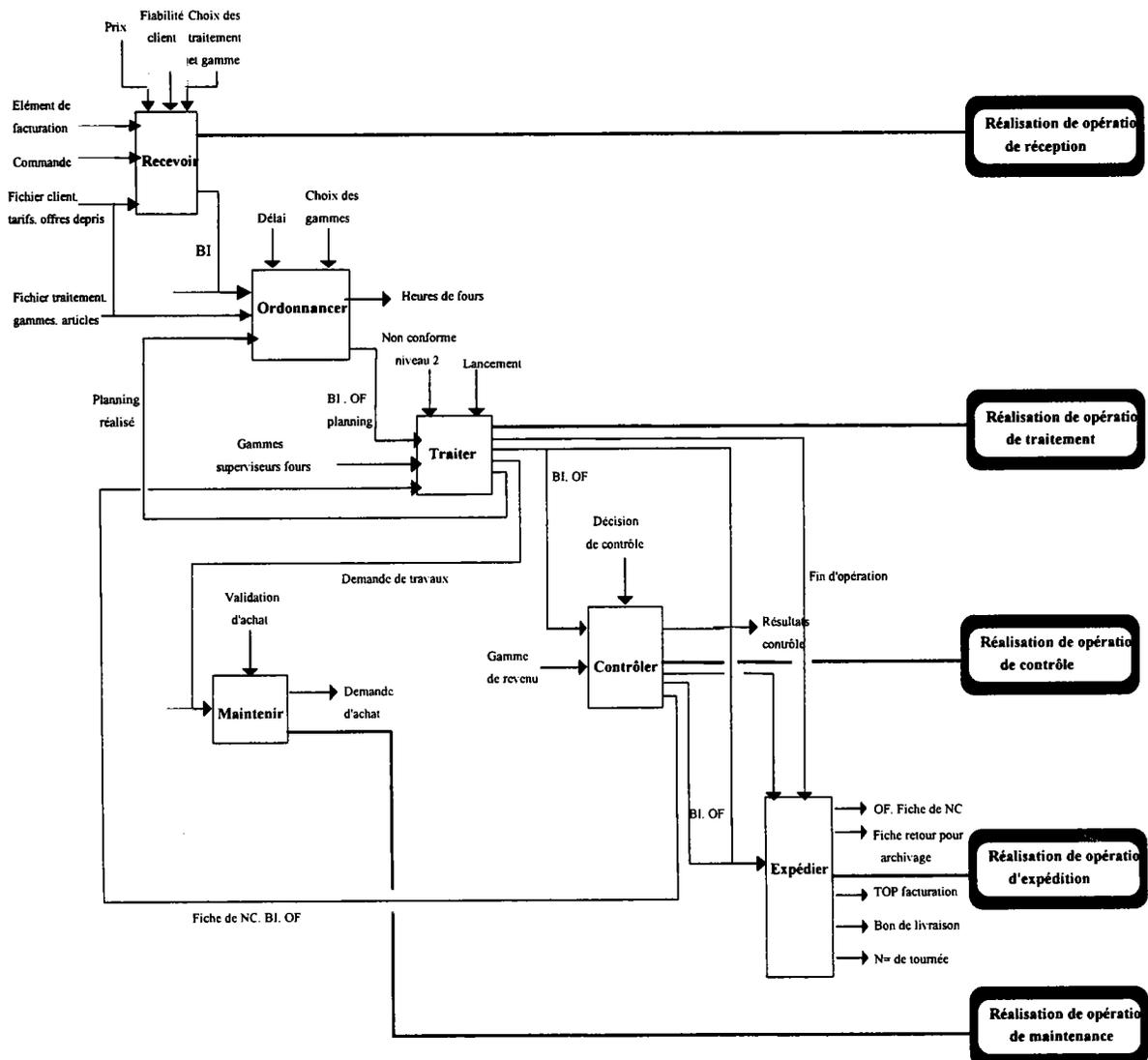


Fig. 59 Modèle SADT du sous-système de traitement de l'information

La figure 59 donne le modèle fonctionnel qui comprend six processus:

Processus "Recevoir": ce processus a pour rôle la réception des pièces en provenance des clients. Bien que cette activité semble essentiellement comme un traitement de la matière, le nombre d'information qu'elle traite et qu'elle génère est plus important que le flux physique. Ainsi les informations qui rentrent dans ce processus sont les suivants:

- Informations provenant des autres processus ou de l'extérieur
 - Méthode
 - Choix traitement et gamme
 - Fichier traitement + gamme + articles
 - Commerciale
 - Prix

- Fichiers: clients + tarifs et offres de pris
- Direction
 - Éléments de facturation
 - Fiabilité clients
- Extérieur
 - Commande
- Informations transmises aux autres processus
 - Méthode
 - Commandes incomplètes ou hors standards
 - Qualité
 - Retours clients
 - Ordonnancement
 - Bordereau d'identification
 - Expédition
 - Commande clients
 - Bon de livraison

Processus "Ordonnancer": après réception des pièces elles sont triées et envoyées soit à l'ordonnancement pour atelier atmosphère ou ordonnancement pour atelier vide. En utilisant les informations provenant des services commercial, méthodes et réception, ainsi que les informations provenant de l'atelier, ce processus permet de définir un planning de traitement. La séparation de l'ordonnancement des deux ateliers ne permet pas une gestion des interactions éventuelles entre les deux ateliers.

- Informations provenant des autres processus ou de l'extérieur
 - Méthodes
 - Choix gamme
 - Fichier traitement + gamme + articles
 - Commercial
 - Délai
 - Réception
 - Bordereau d'identification
- Informations transmises aux autres processus
 - Direction
 - Heures fours
 - Traiter
 - Lancement
 - Bordereau d'identification (BI) + Ordre de Fabrication (OF) + planning

Processus "Traiter": ce processus permet de transmettre les informations aux opérateurs qui travaillent dans les deux ateliers. Ces informations reçues sont principalement sous forme de décisions prises par les autres processus. Le processus "Traiter" génère des informations sur l'état d'avancement des travaux et l'état des machines.

- Informations provenant des autres processus ou de l'extérieur
 - Méthodes
 - Gamme superviseurs fours
 - Qualité
 - Non conformité niveau 2
 - Ordonnancer
 - Bordereau d'Identification + Ordre de Fabrication (OF) + planning
 - Lancement
 - Pièces non conformes ou décision revenu
 - Fichier de Non Conformité (NC) + Bordereau d'Identification + Ordre de Fabrication (OF)

- Informations transmises aux autres processus:
 - Méthodes
 - Enregistrements procédés pour archivage non conformité niveau 2
 - Qualité
 - Résultats essais
 - Maintenir
 - Demande de travaux
 - Expédier
 - Bordereau d'Identification + Ordre de Fabrication (OF)
 - Fin d'opération
 - Contrôle
 - Bordereau d'Identification + Ordre de Fabrication (OF)
 - Ordonnancer
 - Planning réalisé

Processus "Contrôler": Ce processus réalise, d'une part, les contrôles finaux des pièces traitées sous atmosphères et, d'autre part, participe à l'activité de production de cet atelier puisqu'il décide des gammes de revenu.

- Informations provenant des autres processus ou de l'extérieur
 - Méthodes
 - Gammes de revenu
 - Qualité
 - Décision de contrôle
 - Atelier

- Bordereau d'Identification + Ordre de Fabrication (OF)
- Ordonnancement
 - Planning
- Informations transmises aux autres processus
 - Qualité
 - Résultats contrôle
 - Méthodes
 - Résultats contrôle
 - Expédition
 - Bordereau d'Identification + Ordre de Fabrication (OF)
 - Ateliers
 - Fichier de Non Conformité (NC) + Bordereau d'Identification + Ordre de Fabrication (OF)

Processus "Expédier": Ce processus déclenche l'autorisation de facturer dès lors que les pièces sont prêtes à être livrées. il permet aussi de générer d'autres informations tels que les bordereaux de livraison ou des fiches destinés à l'archivage.

- Informations provenant des autres processus ou de l'extérieur
 - Contrôle
 - Bordereau d'Identification + Ordre de Fabrication (OF)
 - Procédé terminé
 - Réception
 - Planning
 - Traiter
 - Bordereau d'Identification + Ordre de Fabrication (OF)
 - Fin d'opération
- Informations vers les processus
 - Qualité
 - Ordre de Fabrication (OF)
 - Fiche de Non Conformité (NC)
 - Fiche retour pour archivage
 - Méthode
 - Ordre de Fabrication (OF)
 - Direction
 - facturation
 - Extérieur
 - Bon de livraison
 - Numéro de tournée

Processus "Maintenir": Le traitement d'information dans ce cas correspond à la réception de décision d'achat ou de demande de travaux et à la génération d'information de demande d'achat.

- information en provenance des autres processus
 - Traiter
 - Demande de travaux
 - Direction
 - Validation d'achat

La figure 59 montre que les processus, obtenu par décomposition à l'aide de SADT, génèrent des fonctions qui agissent sur la partie physique du système de production. Etant donnée la taille de la boîte, le niveau supervision est pratiquement inexistant. En effet, c'est l'opérateur qui traite l'information, en tant que processus, et réalise les décisions prises. Donc, il n'est pas nécessaire d'introduire le niveau de liaison entre le niveau processus et le niveau acteurs. Cependant, il est utile de séparer le flux d'information et le flux de matière pour mieux modéliser le système.

5.2.2.b. Etude fonctionnelle des acteurs

Les acteurs qui traitent la matière sont:

- Opérateurs
- Machines
- Produits

Pour chaque acteur, on peut définir deux types de paramètres: les paramètres d'identification et les paramètres courants.

1. Opérateurs

le personnel de ATTI est composé:

- Responsable atelier: 1 à la journée / 2 en 2 x 8
- Contrôleurs: auto-contrôle
- Conducteurs fours: 10 en 5 x 8
- Préparateurs: travail réalisé par conducteurs
- Réception / expédition: 1 à la journée
- Maintenance: 1 à la journée
- Transport: 3 à la journée

Etant donnée que les transporteurs travaillent à l'extérieur de l'atelier, nous ne prendrons pas en compte la fonction "transport" dans le modèle.

- Paramètres d'identification

Nom

Les fonctions qu'il peut occuper



- Paramètres courants
 - Etat: présents, repos, absent
 - Poste occupé

2. Machine de traitement

La société ATTI dispose de deux fours à charge et d'une installation de type "centre de traitement" capable d'effectuer les opérations de chauffage, de trempe, de lavage et de revenu.

- Paramètres d'identification
 - Nom/code
 - Caractéristique
 - Capacité
- Paramètres courants
 - Etat: occupée, en attente, en panne
 - Produit qui occupe la machine

3. les produits

Les pièces, envoyées par le client, sont accompagnées d'une feuille de commande qui doit comporter suffisamment d'informations pour définir les traitements nécessaires. Le service de réception élabore un bordereau d'identification, accompagné d'une photo de la pièce, qui vont permettre de suivre celle ci tout au long du traitement.

- **Paramètre d'identification**

bordereau d'identification des pièces qui comporte les informations suivantes:

- raison sociale du client
- référence / désignation
- nuance
- traitement
- nombre de pièce / poids
- délais
- tournée de livraison
- spécifications clients

bordereau de livraison: même informations que le bordereau d'identification
photo de la pièce

- **paramètres courants**

position de la pièce dans le planning:

- en attente

- en cours de trempe, de nitruration, de revenu, solo

caractéristiques de la pièce qui changent au cours du traitement:

- dureté, nuance

La figure 60 montre le flux physique à l'entreprise ATTI. La réception et l'expédition sont en réalité confondues au sein d'un même service. Nous les avons désignées volontairement d'une manière autonome afin de clarifier la représentation des flux.

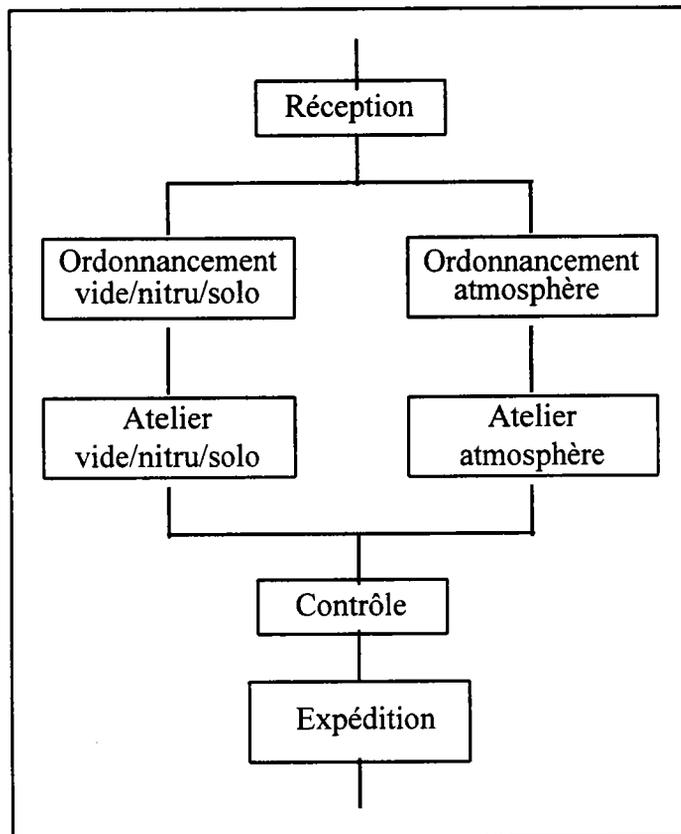


Fig. 60 Flux de matériel

5.2.3. Troisième phase de la modélisation

La troisième phase de la modélisation correspond à une vue informationnelle du système de production.

Pour étudier les processus nous allons définir pour chacun d'eux les parties suivantes:

- Informations provenant des autres processus ou de l'extérieur
- Informations provenant des acteurs
- Algorithme du processus
- Informations vers les processus
- Décision vers les acteurs

Lors de la deuxième phase de modélisation, nous avons défini, pour chaque processus, les informations provenant des autres services et des acteurs; et les informations transmises aux autres processus. Ainsi, il reste à définir, pour chaque processus, son algorithme et les décisions prises pour agir sur les acteurs.

Processus "Recevoir"

- Algorithme du processus
 - Arrivée d'une commande
 - Si la commande est incomplète ou hors standards Alors
 - envoyer la commande au service méthodes
 - prévenir le client
 - Prendre une photographie
 - Peser la pièce
 - Trier suivant les nuances demandées
 - Saisir le code
 - Faire un bon de commande
 - Faire un bon de livraison
- Décision vers les acteurs
 - L'opérateur doit prendre une photo
 - L'opérateur doit peser la pièce
 - L'opérateur doit trier les pièces

Processus "Ordonnancer"

- Algorithme du processus "Ordonnancer" pour l'atelier vide/nitu./solo
 - Constituer la charge
 - Saisir la charge de trempe
 - Planifier la charge de trempe
 - Regrouper la charge de revenu
 - Planification des charges de revenu
 - Envoyer les planning à l'atelier
- Algorithme du processus "Ordonnancer" pour l'atelier atmosphères.
 - Regrouper la charge de revenu
 - Saisir les charges
 - Planifier la charge de trempe
 - Planification des charges de revenu
 - Editer les OF
- Décision vers les acteurs:
 - L'opérateur doit grouper la charge
 - L'opérateur doit envoyer les OF aux processus "Traiter"

Processus "Traiter"

- Algorithme du processus "Traiter" pour l'atelier atmosphères
 - Préparation des charges
 - Dégraissage
 - Mise en stocks
 - Validation de la préparation date + poids + opérateur

Chargement (déchargement) des fours de trempe

Lancement de gamme sur four (superviseur)

Lavage

Mises à jours des plannings réalisés (trempe + revenu)

Contrôle après trempe des charges de séries

- Algorithme du processus "Traiter" pour l'atelier vide/nitru/solo

Préparation des charges

Dégraissage

Chargement et programmation des fours de trempe

Mises à jours des plannings réalisés (trempe + revenu)

Contrôle après trempe et final et après ionique

préparation et programmation des revenus

Etablissement des fiches de non conformité

Mise à jour du planning réalisé

Mesure de profondeur de nitru/certification

- Décision vers les acteurs:

L'opérateur doit réaliser les opérations du processus "Traiter"

Processus "Contrôler"

- Algorithme du processus

Etablir les feuilles de non conformité

Etablir les certificats de contrôle

Super contrôle après retour client

- Décision vers les acteurs

L'opérateur doit faire un auto-contrôle

Processus "Expédier"

- Algorithme du processus

Etablir les bordereaux de livraison des pièces

Faire les fiche de charge pour archivage

Etablir les fiches de non-conformité pour archivage

Etablir TOP facturation

Processus "Maintenir"

- Algorithme du processus

S'il y a une demande d'intervention et accord de travaux

Alors effectuer les réparations

Réaliser le planning de maintenance préventive

Transmettre l'état des stocks des pièces de rechange

S'il y a une validation d'achat alors commander

- **Décision vers les acteurs**

L'opérateur doit réaliser les travaux de maintenance

Lors du deuxième chapitre nous avons proposé d'utiliser l'approche orientée objet pour étudier les acteurs suivant la vue informationnelle. Comme les acteurs ne sont pas très nombreux à la société ATTI, il n'est pas nécessaire faire une décomposition hiérarchique, à l'aide de l'approche orientée objet, pour définir des classes au sein des acteurs.

5.2.4. Quatrième phase de la modélisation

La quatrième phase de la modélisation concerne l'étude du système de production suivant une vue ressource.

Dans le cas des processus, ceci implique la définition des moyens de traitement de l'information. Au chapitre 2 nous avons expliqué que ce traitement peut être manuel, semi-informatique ou complètement informatique.

Processus réception

Le traitement d'information par le processus "recevoir" est semi-informatisé, en effet une partie d'information est véhiculé manuellement sur un support papier alors que une autre partie est traité par ordinateur (Fig. 61).

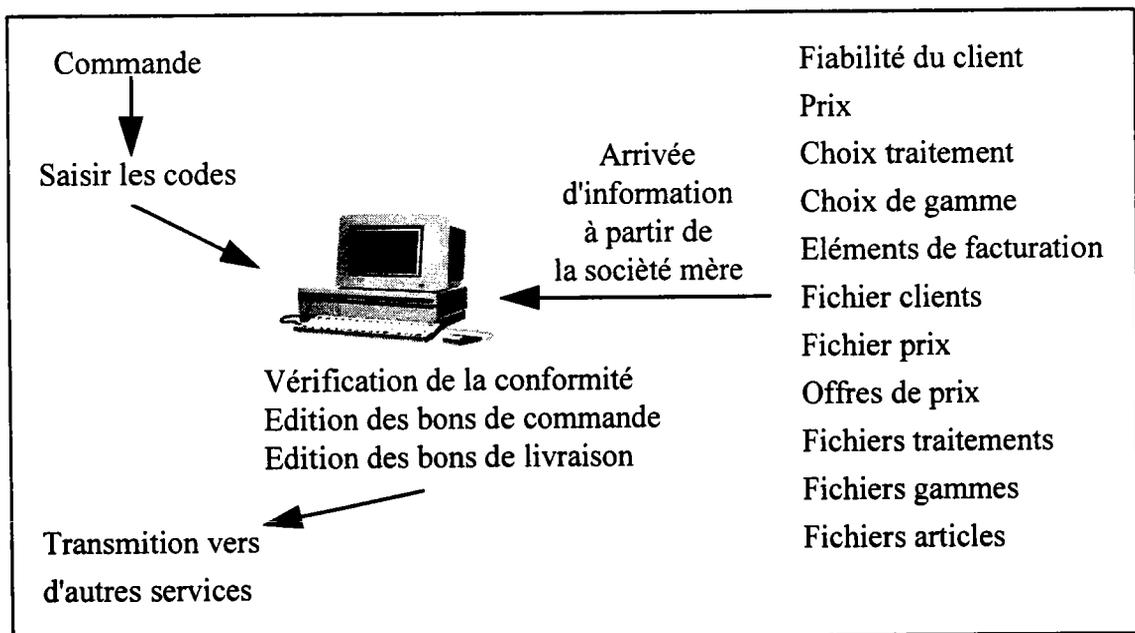


Fig. 61 traitement de l'information au service réception

Processus "Ordonnancer"

Paradoxalement, ce processus qui est supposé organiser l'atelier et donc nécessite une informatisation, le traitement d'information se fait plutôt manuellement. Ceci reflète une réalité sur

l'incapacité des PME de se doter de logiciel d'ordonnancement adapté à leurs fabrication avec un coût raisonnable.

Processus "Traiter"

Le processus "Traiter" à un caractère principalement physique. Cependant il génère plusieurs informations pertinentes. En effet, il permet de rendre compte de l'état d'avancement des travaux, de l'état des machines et autres indications nécessaires pour que les autres processus tel que "Ordonnancer" puissent prendre les décisions qui s'imposent. Ces informations représentent un flux montant de l'atelier vers les autres processus réalisant ainsi la boucle de rétroaction. Il est très important de définir d'une manière précise ces informations et les moyens de les transmettre. La rapidité de se rendre compte en temps réel de l'état d'avancement des travaux et de l'état des acteurs permettra de réagir pour respecter les délais. Au ATTI ces informations sont traitées manuellement.

Processus "Contrôler": Traitement manuel de l'information

Processus "Expédier": Traitement manuel de l'information

Processus "Maintenir": Traitement manuel de l'information

5.2.5. Cinquième phase de la modélisation

La cinquième phase de la modélisation correspond à la vue organisationnelle du système de production.

La difficulté principale pour modéliser ce système de production, résulte du fait que le flux information et le flux matière sont très dépendant et circulent en parallèle avec la même vitesse. En effet, d'une part, le traitement d'information est manuel, et d'autre part ces informations sont véhiculées manuellement par un support "papier". Pour être exploitées, les données recueillies doivent être réinventées au système, ce qui entraîne une certaine lourdeur dans les tâches administratif et crée un volume papier important. Un lien par un réseau locale permettra d'augmenter la circulation des informations et donc avoir un gain en temps non négligeable.

De plus il est possible d'anticiper l'ordonnancement des ateliers si les informations nécessaires pour faire le planning peuvent être disponible avant que les pièces n'arrivent à l'entreprise. Ceci, en demandant par exemple aux clients de faxer les commandes. Le gain de temps dans ce cas, peut être très important.

5.2.6. Sixième phase de la modélisation

La sixième phase permet de définir un modèle descriptif de réalisation correspondant à un modèle exécutable. Dans notre cas cela se traduit par le schéma de la figure 62. L'intérêt de ce modèle permet de séparer les deux flux d'information et de matière. Ceci afin d'anticiper le traitement de l'information et réaliser un gain en temps nécessaire pour une entreprise qui travaille à la commande. Mais cela suppose que l'entreprise doit entamer une réflexion sur la possibilité d'avoir

des informations suffisantes avant l'arrivée des pièces qu'il faut traiter. D'autre part, il faut trouver une méthode informatique d'ordonnancement pour optimiser le planning en un minimum de temps. De plus, l'informatisation permettra de réordonner rapidement, si besoin est. Le modèle de réalisation comporte un réseau local qui permet de lier les différents services et l'atelier.

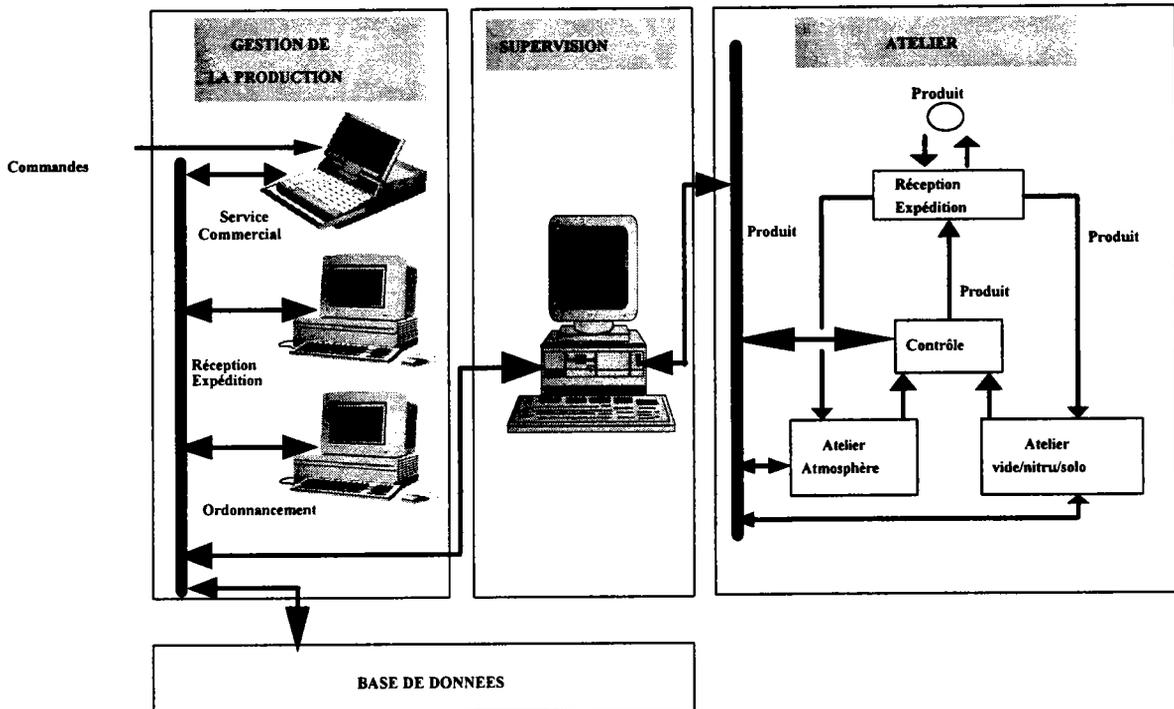


Fig. 62 Réalisation du modèle PFA pour la société ATTI

5.3. CONCLUSION

L'application de la méthodologie proposée (PFA) dans un cas industriel permet d'étudier le fonctionnement de son système de production suivant plusieurs aspects.

Aujourd'hui, pour être compétitif, il est important de se concentrer sur les attentes des clients. Ainsi, l'utilisation de l'approche systémique, comme première phase de la méthodologie proposée, paraît pleinement justifier. Elle nous a permis de déterminer l'interaction du système avec son environnement.

La décomposition du système en deux sous systèmes de traitement de l'information et de traitement de la matière permet de déterminer les différents types de flux spécifiques. L'étude fonctionnelle du système permet si nécessaire de démêler les interactions entre les différents services de la production par rapport au sous système de traitement de la matière.

La vue informationnelle permet d'aboutir à un cahier de charge pour une informatisation éventuelle du système de production. Ceci est réalisé en déterminant pour chaque processus (service) les informations arrivant des autres processus, les informations sur les acteurs (machines, opérateurs...), l'algorithme du traitement de l'information, les décisions à transmettre aux autres services et enfin les actions à réaliser sur les acteurs.

La vue organisationnelle nous a permis de proposer quelques choix possibles de réorganisation de la gestion de production qu'il reste à développer et valider.

Enfin les vues ressources et réalisation permettent de définir les moyens de gestion de la production et leur implantation.

CONCLUSION

L'évolution du marché, le progrès technique et le changement de comportement de la société actuelle ont créé un nouveau contexte de production. En effet, de nouvelles contraintes sont apparues sur la production tel que la mondialisation du marché et le besoin de qualité. Ainsi, il devient nécessaire de changer en permanence aussi bien l'appareil de production que la manière de gérer celle-ci.

Pour faire face à ces changements les entreprises se sont engagées suivant deux axes principaux: l'axe productique, au sens automatisation, et l'axe productique au sens du développement de nouvelles méthodes d'organisation. Ainsi, on a vu l'émergence de deux concepts clé dont le premier est la flexibilité, développé surtout durant les années quatre-vingts, et l'intégration qui sera l'un des plus important thème de recherche en génie industriel durant les années quatre-vingt-dix.

Pour étudier un système de production, devenu de plus en plus complexe, la modélisation s'avère une étape nécessaire. En effet, d'une part, elle permet de comprendre l'existant, et d'autre part, elle permet de reconcevoir le système de production. De plus, l'intégration de l'entreprise par la modélisation peut permettre de contourner des problèmes très complexes, tel que la planification et l'ordonnancement, en réorganisant la production.

Les approches existantes tel que l'approche hiérarchique, l'approche systémique et l'approche objet ne permettent pas d'étudier le système de production en tenant en compte ses différents aspects informationnels, décisionnel, physique et supervision. Ce qui ne permet pas de réaliser l'intégration par la modélisation.

D'autre part, il existe plusieurs outils de modélisation tels que les réseaux de PETRI, GRAI et SADT dont chacun ne peut traiter qu'un aspect du système de production. L'augmentation du nombre de ces outils dans l'atelier génie logiciel pose un problème quant à leurs intégrations. En effet, le passage d'un modèle à un autre ou la connexion entre deux modèles est souvent difficile.

C'est pour ces différentes raisons que nous avons développé un modèle permettant:

l'intégration de trois niveaux dans la pyramide CIM: niveau gestion de production, niveau physique et niveau physique,

l'intégration de plusieurs outils de modélisation tels que SADT, l'approche OBJET, les réseaux de PETRI...

L'utilisation de la systémique, comme première étape de modélisation, permet d'étudier un système au sein de son environnement. Cette démarche est importante afin de répondre aux exigences du marché actuel. L'approche orientée objet permet de bien décomposer la partie physique du système de production en utilisant le mécanisme d'héritage. L'approche hiérarchique, à l'aide de l'outil

SADT, est très utile pour décomposer le processus de production en plusieurs processus. Enfin l'utilisation de nouvelle entité appelée FONCTION permet de relier les processus et les acteurs, réalisant ainsi la supervision des relations entre les processus de décision et les acteurs physiques. L'intérêt majeur de cette démarche réside dans l'intégration des trois aspects décision, physique et supervision de la production permettant, ainsi, de concevoir un modèle intégré du système de production.

De plus l'approche proposée s'inscrit bien dans la démarche CIM-OSA et permet de concevoir un modèle générique du système de production.

L'application de ce modèle général sur un système de production montre la facilité et l'intérêt de cette démarche.

De plus ce modèle peut servir comme axe d'organisation sans obligation d'informatisation. Mais si besoin est, nous avons indiqué le passage de ce modèle à un modèle informatisé comprenant une base de données et un réseau informatique du système de décision et de supervision.

L'utilisation de cette approche en simulation permet d'aboutir rapidement à un modèle opérationnel traduit facilement en programme à l'aide des langages de simulation.

●

BIBLIOGRAPHIE

- [ALC-87] ALCOUFFE C, Gestion des stocks méthodes et applications, Collection Eyrolles Management, 1987.
- [ANT-65] ANTHONY R.N., Planning and Control Systems: A Framework for Analysis (Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1965).
- [ANT-88] ANTHONY R.N., The Management Control Function (The Harvard Business School Press, Boston, 1988).
- [ASH-91] ASHTON JE., JOHNSON MD., Pilotage d'ateliers dans un système d'ateliers spécialisés: le MRP n'est certainement pas le bon outil, Revue française de GESTION INDUSTRIELLE, N° 4, 1991, P. 5-18.
- [AZO-94] AZOUZI M., Etude systémique, DEA de l'université de Nancy, GSI-Nancy, 1994
- [BAR-92] BARBIER F. et JAULENT P., Techniques orientés objets et CIM, EYROLLES, 1992.
- [BEL-83] BEL G., modèles et langages de simulation, CERT-DERA, réunion ARA et congrès AFCET, Besançon 1983, Productique et Robotique Intelligente.
- [BEL-94] BELMAHDI N. and NADIF A., New approach of the modelling of the production systems, IMSE'94, Grenoble, December 12-14, 1994.
- [BEL1-95] BELMAHDI N. and NADIF A., Study of the production system aiming at its modelling and simulation, IEPM'95, Marrakech, Morocco, April 4-7, 1995.
- [BEL2-95] BELMAHDI N. and NADIF A., Modèle intégrant l'approche objet et les outils XAO, IA'95, Montpellier, France, Juin 26-30, 1995.
- [BLA-94] BLAISON G., GABRIEL M., Approches de la gestion des risques d'entreprise, Revue française de GESTION INDUSTRIELLE, N°2, (1994).
- [BRE-92] BREMAS M., Systémique, cours de DEA GSI de Nancy, 1992.

- [BUC-94] BUCHI J., PESQUEUX Y., Modes de marchés d'un système automatisé, Revue française de GESTION INDUSTRIELLE, N° 1, (1994).
- [BUR-88] BURBIDGE J.L., Operation scheduling with GT and PBC, Int. J. Prod. Res., 26 (3) (1988), p. 429-442.
- [CAU-91] CAUVET C., ROLLAND C., Conception des systèmes d'information: une approche orientée-objet, AFCET Autour et à l'entour de MERISE les méthodes de conception en perspective, Avril 1991, 223-237.
- [CHA1-89] CHARHABAGHI K., DAVIES B.L., SPARSHOT D.I. and JANES P., Planned flexibility: the key to improved production, Adv. Manufacturing Eng. 1 (April 1989) 155-164.
- [CHA2-89] CHARHABAGHI K., DAVIES B.L., SPARSHOT D.I. and JANES P., Planning for just-in-time production, Int. J. Computer Integrated Manufacturing (5) (1989) p. 268-274.
- [CHE-87] CHENG T.C.E., A simulation study of MRP capacity planning with uncertain operation times, Int. J. Prod. Res. 25 (2) (1987) 245-257.
- [CHO-92] CHO-Hsien Chu and WEI-LING Shih, Simulation studies in JIT production, Int. J. Prod. Res., 1992, Vol. 30, No. 11, P. 2573-2586.
- [CRA-91] CRAN-LACN, Méthodes et outils d'intégration, expériences du CRAN-LACN, Proceedings of the international seminar, 23ème CIRP, Tome 1, Nancy 1991, France.
- [DOH] DOHO S., Simulation d'un système de pilotage M.R.P.-KANBAN, Travail et méthodes, p. 47-49.
- [DOI-92] DOITEAUX Christophe, Auto-contrôle de cellule flexible d'usinage: étude et réalisation du système de pilotage. Thèse de 3ème cycle en Production Automatisée. Université de Nancy 1, 1992.
- [DOR-93] DORLANG-CLAUZEL C., Réveillez l'argent qui dort, Magazine aciers, Numéro 23 / Octobre 1993, P 2-3.
- [DOU-84] DOUMEINGTS G., Méthode GRAI: Méthode de conception des systèmes de productique. Thèse d'état en Automatique. Université de Bordeaux 1, 1984.
- [DOU-91] DOUMEINGTS G. et VALLESPIR B., Technique de modélisation pour la productique, 23ème CIRP, Nancy, Juin 6-7, 1991.
- [EDG-88] EDGHILL J., OLSMATS C. and TOWILL D., Industrial case-study on the dynamics and sensitivity of a close-coupled production-distribution system, Int. J. Prod. Res. 26 (10) (1988) 1681-1693.

- [GOL-86] GOLDORATT E. et COX J., Le but ou l'excellence en production, édition afnor gestion, 1986.
- [GOT-93] GOTHA (CHARLIER J, CHRETIENNE P., ERSCHLER J., HANEN C, LOPEZ P., MUNIER A., PINSON E., PORTMANN M.-C., PRINS C., PROUST C. et VILLON P., Les problèmes d'ordonnancement, Recherche opérationnelle, Vol. 27, n° 1, 1993, P. 77-150.
- [IGL-89] IGL technologie. SADT un langage pour communiquer. Eyrolles 1989.
- [KIN-88] KING B.E. and BENTON W.C., Master production scheduling, customer service and manufacturing flexibility in an assemble-to-order environment, Int. J. Prod. Res. 26 (6) (1988) 1015-1036.
- [KIN-89] KING C.U. and FISHER E.L., BARBS: integrating simulation, optimization and knowledge-based techniques to identify and eliminate production bottlenecks, Int. J. Computer Integrated Manufacturing 2 (6) (1989) 317-328.
- [KUS-88] KUSIAK A. and CHEN M., Expert systems for planning and scheduling manufacturing systems, Europ. J. Op. Res. 34 (1988) 113-130.
- [LEM-94] LE MOIGNE J.L., La conception des systèmes d'information organisationnels: de l'ingénierie informatique à l'ingénierie des systèmes, Congrès "Autour et à l'Entour de MERISE", Sophia-Antipolis, (avril 1991) (4-41).
- [LHO-91] LHOTE F., VALLET G, DULMET M., De la communication à la synergie: Le paradigme de l'intégration et ses exigences en terme de sémantique des interactions au sein de l'entreprise, 23ème CIRP, tome 1, Nancy 6-7 Juin 91 FRANCE.
- [LIB-87] LIBOSVAR C.M., Hierarchies in production management and control: a survey, MIT Working Paper A8848 (draft version), Laboratory for Information and Decision Systems (1987).
- [MAS-94] MASSOTE P., IBM France, Analyse comportementale d'un système complexe, Revue française de GESTION INDUSTRIELLE, N° 2, 1994.
- [MAR] MARTY Claude, la V.A.D. : Fcteur d'analyse et d'intgration pour les industries manufacturières, EUROPEAN JOURNAL MECH. ENG., Vol. 37, N° 3, p. 175-182.
- [MIC-91] MICHELLE M. and KEVIN J. DOOLEY, Dynamic rules for due-date assignment, INT. J. PROD. RES., November 1991, VOL. 29, NO. 7, P. 1361-1377.

- [MIN-82] MINTZBERG H., Structure et dynamique des organisations, Les Editions d'Organisations, 1982.
- [MOR-94] MOREJON J., MERISE vers une modélisation orientée objet, Les éditions d'organisation.
- [MUL-93] MULKENS H., Les nouvelles organisations productives, Revue française de GESTION INDUSTRIELLE, N° 3, 1993, 5-30.
- [MUT-89] MUTEL B., NADIF A. and Costantini M., Integration of production departments by generalized Group Technology concept, Edited by AT&T BELL LABORATORIES AND UNIVERSITY OF ILLINOIS AT URBANA CHAMPAIGN, DE-VOL.21, PED-vol.36, 1989, pages 93 to 99
- [NAD-85] NADIF A., Technologie de groupe: Problème d'implantation, Matériaux Mécanique Electricité, N°410, Janvier-Fevrier 1985.
- [NAD-91] NADIF A., Application de la Technologie de Groupe au système de production, 23ème CIRP, tome 1, Nancy 6-7 Juin 91 FRANCE.
- [NAD-92] NADIF A. and ANCIAUX D., New approach to manufacturing system layout, CIRP-PROCEEDING ON MANUFACTURING SYSTEMS, vol.21, n° 4, 1992
- [NAN-81] NANCE R.E., Model representation in discret event simulation: the conical methodology, Tech. Rep. Virginai Tech., March 1981.
- [NOL-86] NOLLET, KELADA, DIORIO, La gestion des opérations et de la production: une approche systémique, éditeur géatan morin, 1986.
- [NYE-88] NYEN P.A., OPT-rules in discrete events simulation models. An algorithm for scheduling based on critical source identification, Proc. of 4th Conf. Simulation in Manufacturing Eng. 1 (1988) pp. 21-32.
- [HAM-86] HAMICHI S. et KIEFFER J.-P., Les progiciels de la gestion de production. Principes de fonctionnement, analyse comparée, choix et mise en oeuvre. Paris, l'Usine Nouvelle, 1986
- [HIC-88] HICKS C., BRAIDEN P.M. and SIMMONS J.E.L., A simulation model of hierarchical production control systems in make-to-order manufacturing, Proc. of 4th Int. Conf. Simulation in Manufacturing (1988) pp. 45-52.
- [HIL-88] HILLION H., MEIER K. and PROTH J.M., Production sub-systems and part-families: the top level model in hierarchical production planning systems, in: G.K. Rand (Ed.), Operational Research, '87 (Elsevier, 1988).

- [PEG-82] PEGDEN C.D., Introduction to SIMAN. Syst. Model. Corporation. State College Pem., 1982.
- [PIE-90] PIERREVAL H., Les méthodes d'analyse et de conception des systèmes de production, Editions Hermès, N° 36, Paris 1990
- [PIH-92] PIHLIPOOM P.R. and FRY T.D., Capacity-based order review/release strategies to improve manufacturing performance, INT. PROD. RES., February 1992, VOL. 30, NO. 11, P. 2559-2572.
- [PLO-93] PLOSZAJSKI G., SINGH M.G. and HINDI K.S., An overview of some computer-aided production management issues, Information and Decision Technologies, North-Holland, 18 (1993), p. 405-413.
- [PRI-79] PRITSKER A.A.B., PEGDEN C.D., Introduction to simulation and SLAM. Halted Press, New York, 1979.
- [SCH-80] SCHMIDT B., GPSS-Fortran, John Wiley & Sons, 1980
- [SCH-85] SCHROER B.J., BLACK J.T., and ZHANG S.X., Juste-In-Time (J-I-T), with kanban, manufacturing system simulation on a microcomputer. Simulation, 45, P 62-70.
- [VER-94] VERNADAT F., Future R&D direction for CIM deployment, ISME'94, Grenoble, December 12-14, 1994.
- [VET-92] VETTER M., Modélisation des données: Approches globale et orientée objets, DUNOD informatique, 1992.
- [VIL-88] VILLEDA R., DUDEK R. and SMITH M.L., Increasing the production rate of just-in-time production system with variable operation times, Int. J. Prod. Res. 26 (11) (1988) 1749-1768.
- [WHI-87] WHITE J.A., Production Handbook (Wiley,1987).
- [WU-89] WU S.Y.D. and WYSK R.A., An application of discrete-event simulation to on-line control and scheduling in flexible manufacturing, Int. J. Prod. Res. 27 (9) (1989) 1603-1623.
- [XAV-92] XAVIER R., La supervision et ses nouvelle fonctionnalités, son approche et ses raisons, AUTOMATION, Paris, 14 Mai 1992.

ANNEXES

ANNEXE 1 : OUTILS DE MODELISATION

1. SADT
2. GRAI
3. MERISE
4. RESEAUX DE PETRI

ANNEXE 2 : TGAO

ANNEXE 3 : LES LANGAGES DE SIMULATION

ANNEXE 4 : MODELISATION DES FONCTIONS

ANNEXE 5 : PROGRAMME DE SIMULATION

ANNEXE 1

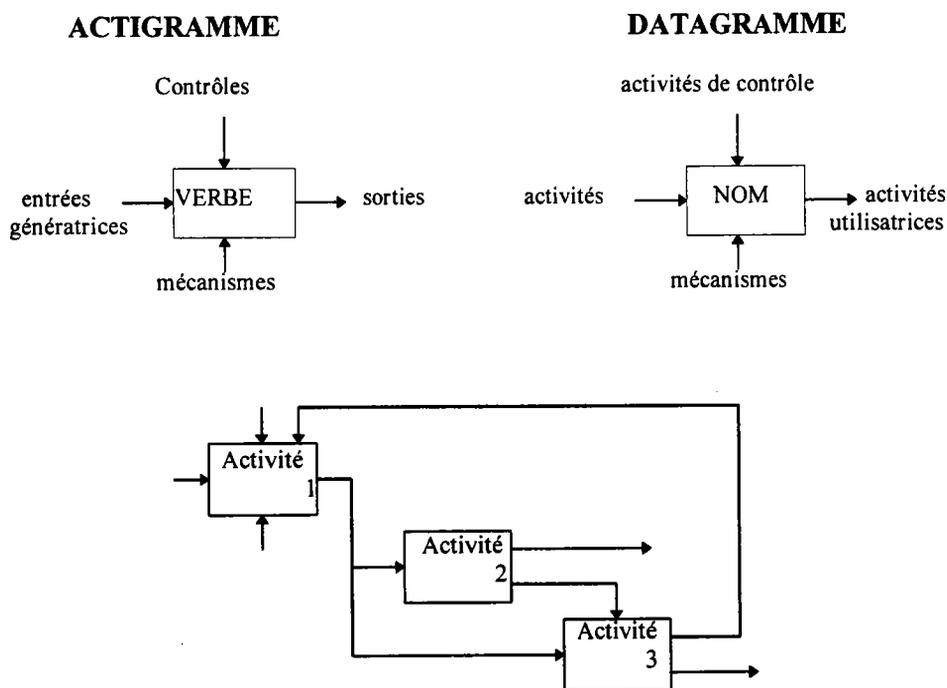
OUTILS DE MODELISATION

1. SADT (Structured Analysis and Design Technique)

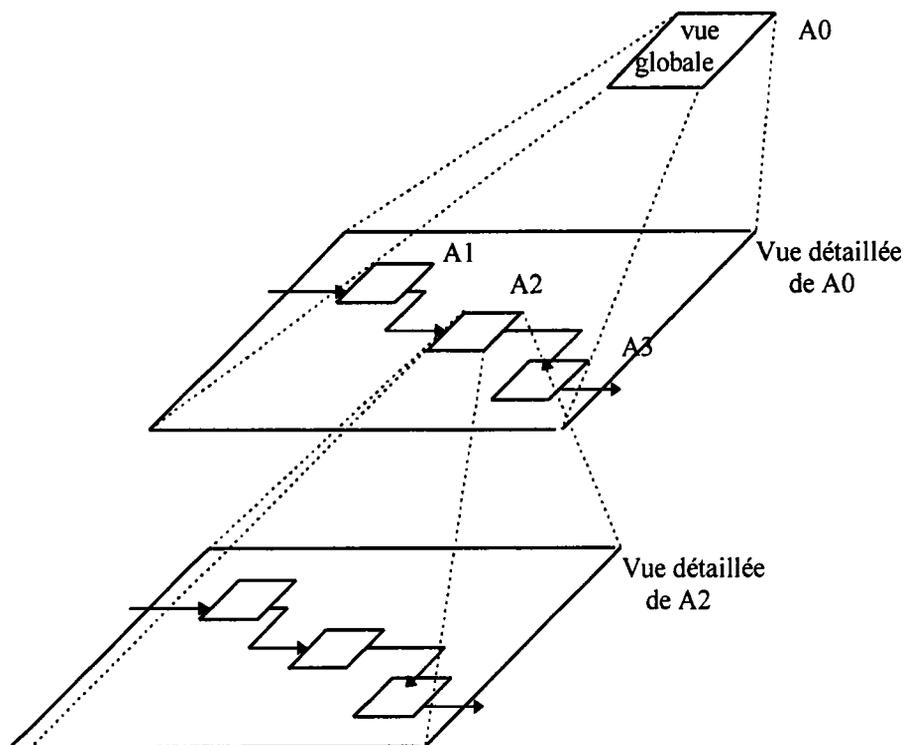
SADT est une méthode générale qui cherche à favoriser la communication entre les demandeurs, les utilisateurs, d'une part, et les concepteurs et les réalisateurs d'autre part.

SADT utilise deux manières de représentation:

1. **Actigramme:** une activité est représentée par une boîte portant un verbe. Les données sont représentées par des flèches désignées par leurs noms. Les flèches peuvent être des données des entrées de l'activité, des données de sorties, des données de contrôles ou des données relatives aux mécanismes de l'activité.
2. **Datagramme:** La boîte représente une donnée, alors que les flèches représentent les activités concernant cette donnée. Les activités sont les activités génératrices, activité utilisatrices, activités de contrôle ou activité des mécanismes des données.



SADT utilise une décomposition hiérarchique pour aller du générale aux détails. Elle exprime les flux d'informations entre les boîtes.

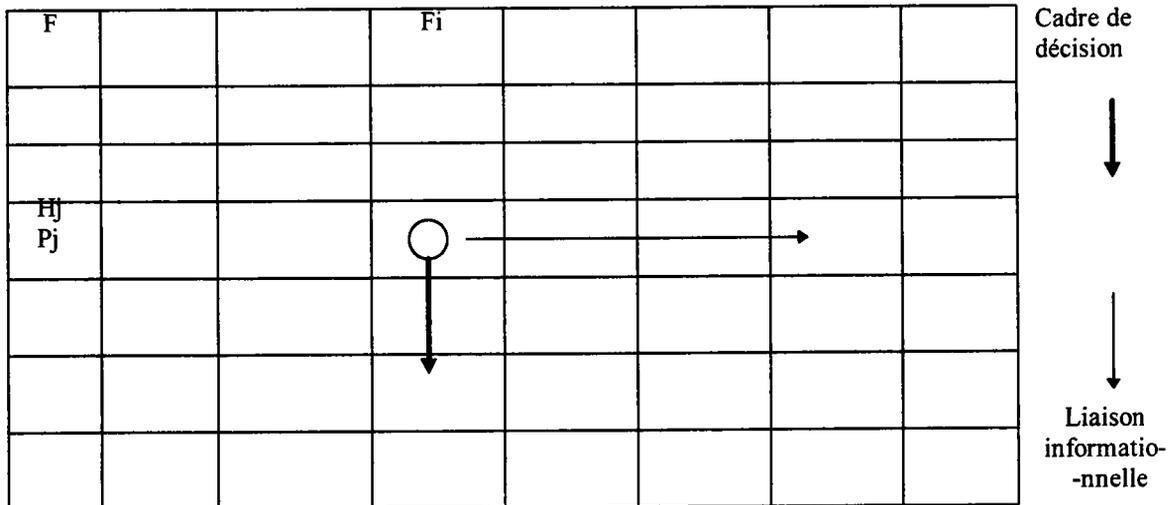


2. GRAI (Graphes à Résultats et Activités Inter-relies)

GRAI a pour vocation l'analyse, le diagnostic, la conception et la spécifications des systèmes de gestion de production.

GRAI décompose le système de production en trois sous-système: physique, décision et information. Un centre de décision est un ensemble d'activités de décision. Cette dernier est défini suivant deux critères:

1. critère fonctionnelle distingue les activités suivant les fonctions de base auxquelles elles appartient.
2. critère temporels: horizon de temps concerné par la décision et période relative à l'intervalle de temps séparant la remise en cause des décisions.



GRAI définit des réseaux permettant de représenter graphiquement deux types d'activités: activité d'exécution et activité de décision.

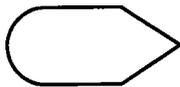
Chaque activité est identifiée par un verbe et définie par:

1. une origine (état déclenchant l'activité)
2. un résultat (état résultant de l'activité)
3. des supports (éléments nécessaires à l'accomplissement de l'activité)

Une activité de décision est définie par des objectifs, des variables de décision et des règles de décision.

Les liaisons entre les activités se font par l'intermédiaire de supports, des origines et des extrémités. Le résultat d'une activité peut être le support ou l'origine d'une autre activité. Des opérateurs logiques peuvent être utilisés.

**activité
d'exécution**

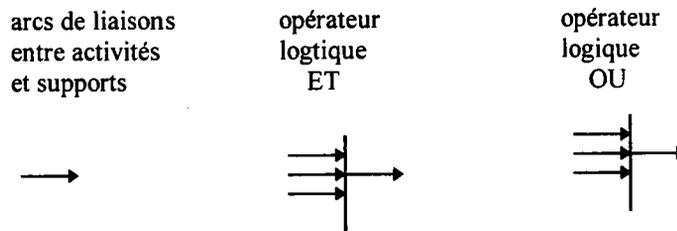


**activité
de décision**



support





3. MERISE

La méthode Merise a pour objectif de fournir des modèles pour concevoir et réaliser un système d'information. Elle met en évidence trois niveaux de réflexion:

1. niveau conceptuel: préoccupation de gestion
2. niveau organisationnel: préoccupation d'organisation
3. niveau physique: préoccupation techniques.

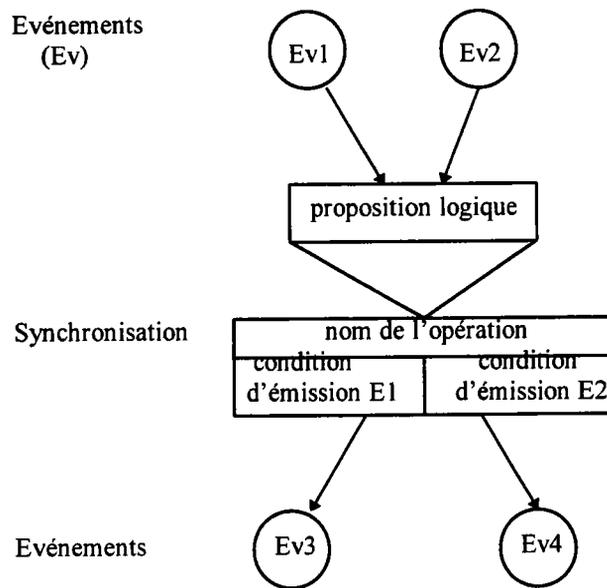
Dans ces trois niveau de réflexion Merise effectue une distinction entre les aspects statiques du système (données) et les aspects dynamiques (traitements).

NIVEAUX	MODELES	
	DONNEES	TRAITEMENT
Niveau conceptuel	MCD Modèle Conceptuel de Données	MCT Modèle Conceptuel de traitement
Niveau organisationnel	MLD Modèle Logique de Données	MOT Modèle Organisationnel de traitement
Niveau physique	MPD Modèle Physique de Données	MPT Modèle Physique de traitement

1. niveau conceptuel

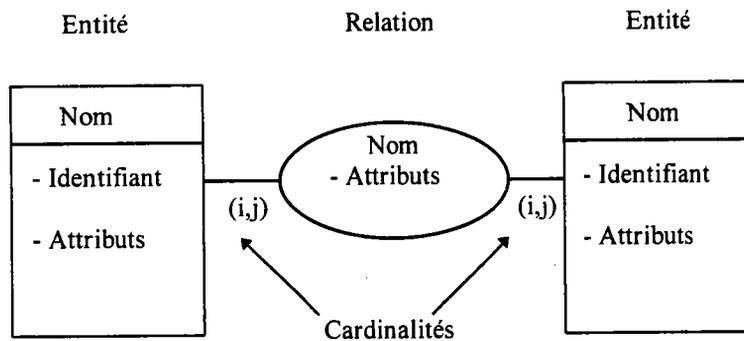
Le niveau conceptuel définit les objectifs de l'entreprise en répondant à des préoccupation de type: que veut-on faire?, que fait l'objet?.

Le Modèle Conceptuel de Traitements (MCT) décrit le fonctionnement en terme d'événements, d'opérations, et de synchronisations.



Le Modèle Conceptuel des Données (MCD) sert à décrire les informations mémorisées dans l'entreprise en les classant en deux ensembles:

1. Entité: objet manipulé (individu, éléments d'une base de données),
2. Relation: permet de caractériser les relations entre les entité



2. niveau Organisationnel

Le niveau organisationnel décrit les postes de travail de l'entreprise en répondant à des préoccupations de type: qui fait quoi, où et quand?

Le Modèle Organisationnel des Traitements (MTO) analyse les réactions des postes de travail à un message externe.

Le Modèle Organisationnel (ou Logique) des Données (MLD) est un sous-ensemble du Modèle Conceptuel adapté à un site de données.

3. niveau physique

Le niveau physique concerne la description du système d'information automatisé tel qu'il sera implanté physiquement à l'aide d'un système de gestion de base de données et/ou de fichier classique.

Le Modèle Opérationnel des Traitements (MPT) représente l'architecture physique des programmes.

Le Modèle Physique des Données (MPD) est une traduction du MLD en fonction des particularités du système de gestion de fichiers ou de base de données spécifique.

4. RÉSEAUX DE PETRI

Les réseaux de PETRI permettent de réaliser une représentation dynamique d'un système.

Ils utilisent deux types de noeuds:

1. Place symbolisé par "O"
2. Transition symbolisé par "___"

Les noeuds sont reliés par des arcs orientés (sens de la flèche). Un arc ne peut relier qu'une place à une transition ou qu'une transition à une place. Les places peuvent contenir des marques représentées par des points. Le franchissement d'une transition s'effectue si chacune des places en amont de celle-ci contient au moins une marque. On retire une marque de chacune des places en amont et on ajoute une dans chacune des places en aval.

ANNEXE 2

TGAO

(TECHNOLOGIE DE GROUPE ASSISTEE PAR ORDINATEUR)

QU'EST-CE-QUE LA TECHNOLOGIE DE GROUPE ?

DEFINITION :

"C'est une méthode qui consiste à regrouper les pièces par famille afin de les CONCEVOIR et de les FABRIQUER en tirant profit de leurs analogies."

OBJECTIFS :

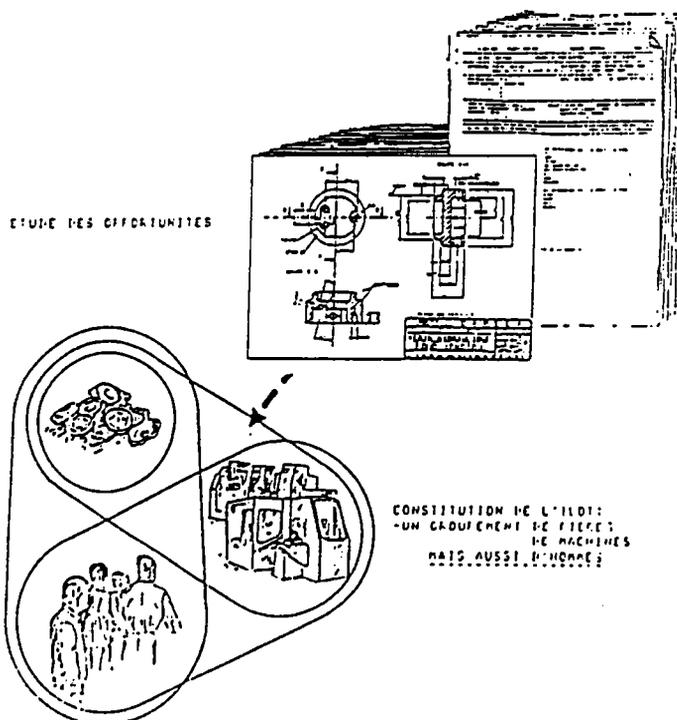
De cette définition nous constatons que la TECHNOLOGIE DE GROUPE s'adresse essentiellement à deux fonctions de l'entreprise :

- les études
- la fabrication
 - le bureau des méthodes
 - l'organisation d'atelier

D'où la nécessité avant toute velléité d'introduction de la TGAO de définir les buts à atteindre :

- 1 - application Bureau d'Etude
- 2 - application Bureau des Méthodes
- 3 - application en vue de réorganisation d'atelier

Suivant les structures, le passé, les hommes, les projets en cours, l'entreprise ciblera un, deux ou les trois objectifs possibles.

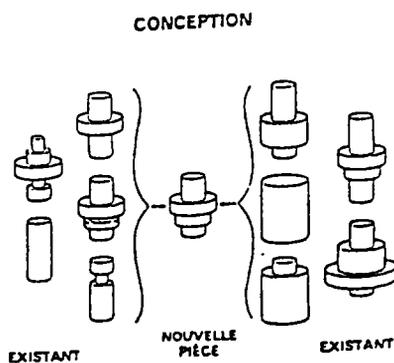
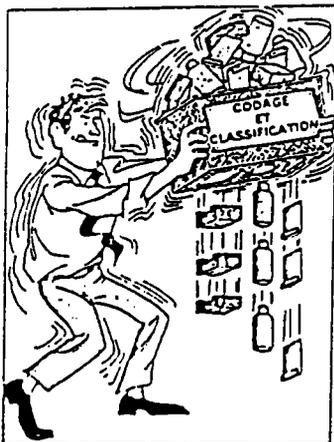


APPLICATION BUREAU D'ETUDES

La préoccupation essentielle est d'éviter les duplications inutiles génératrices de proliférations de pièces très voisines et difficilement détectables.

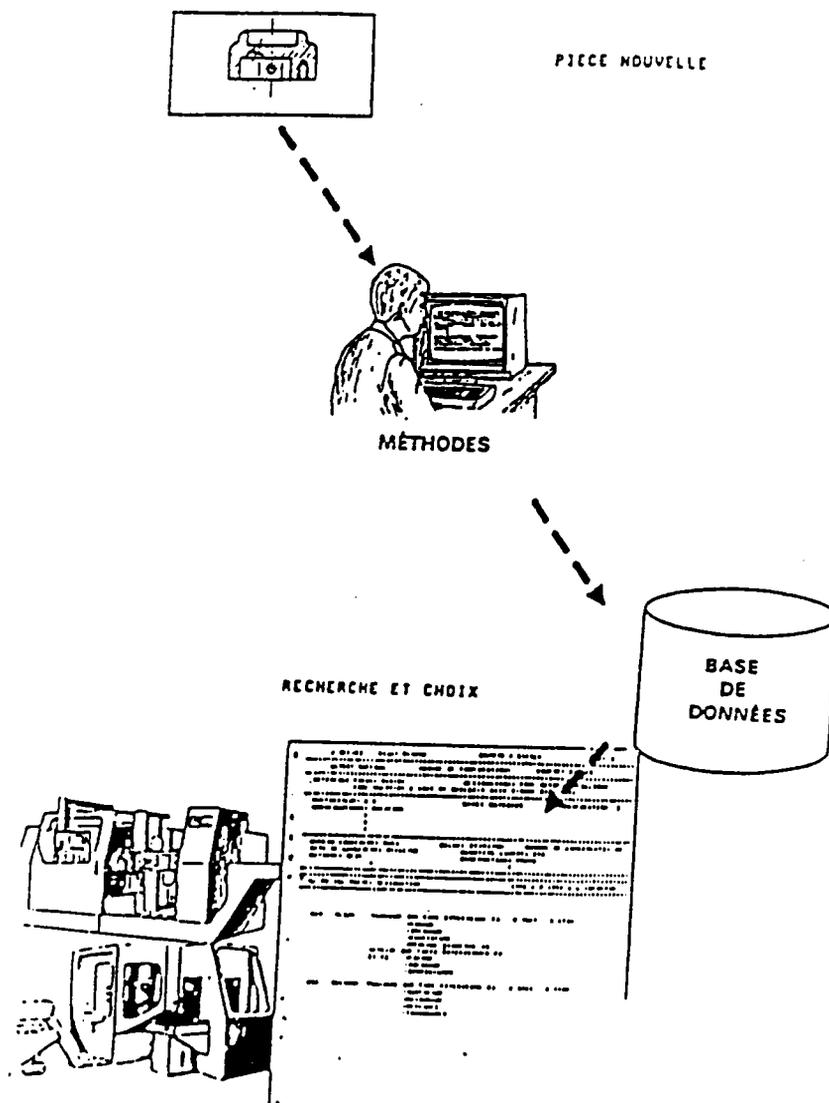
Les multiples possibilités de la TGAO autoriseront, par l'analyse très fine de l'existant, le déclenchement d'opérations de standardisation.

BESOIN D'UN OUTIL DE



APPLICATION BUREAU DES METHODES

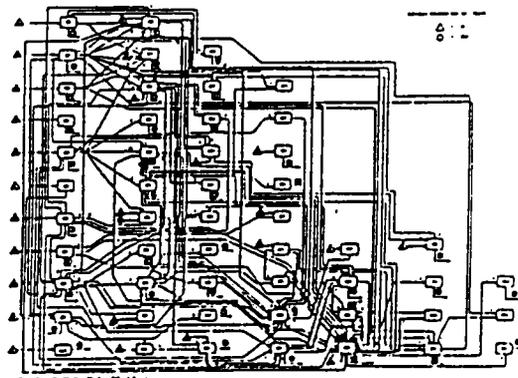
- la création de familles de pièces
- la définition de gammes types par famille
- l'établissement de textes standards
- l'implantation de modules de recherche multicritères
- l'élaboration d'une nouvelle gamme à partir d'une gamme existante
- la mise en place d'une base de données accessible à d'autres systèmes, créant ainsi la mémoire de l'entreprise
- etc ...



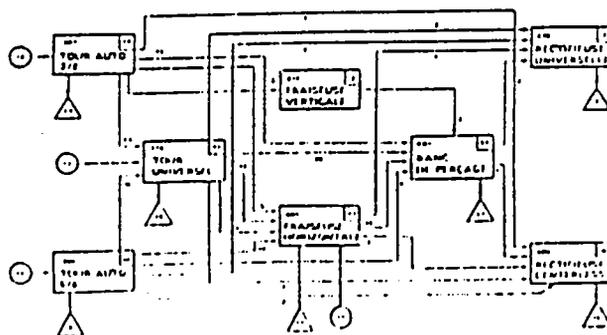
REORGANISATION D'ATELIER

- le nombre et la composition des circuits atelier
- les charges machines, les quantités de pièces relatives à ces circuits
- les degrés de corrélation des machines entre elles
- les possibilités de regroupement des postes de charge en îlots de fabrication

ORGANISATION CONVENTIONNELLE 150 PIÈCES TRÈS VOISINES 87 CIRCUITS et 31 MACHINES



LES MEMES 150 PIÈCES EN T.G. 31 CIRCUITS et 8 MACHINES (87) (31)



ANNEXE 3

LES LANGAGES ET LOGICIELS DE SIMULATION

1. LANGAGE DE SIMULATION A EVENEMENTS DISCRETS

GPSS-Fortran: General Purpose Systems Simulation (Distribué par IBM)

SIMAN (distribué par Ouroumoff)

Q-GERT (Queuing-Graphical Evaluation and Review Technique)

SIMSCRIPT (A simulation Programming Language)

SIMULA (Simulation Language)

SLAM : Simulation Alternative Modeling (distribué par Dynatech)

QNAP II (distribué par Simulog)

2. LANGAGES DE SIMULATION CONTINUE

Dynamo

Stella, I. Think

Neptunix

VENSIM

3. LOGICIELS DE SIMULATION

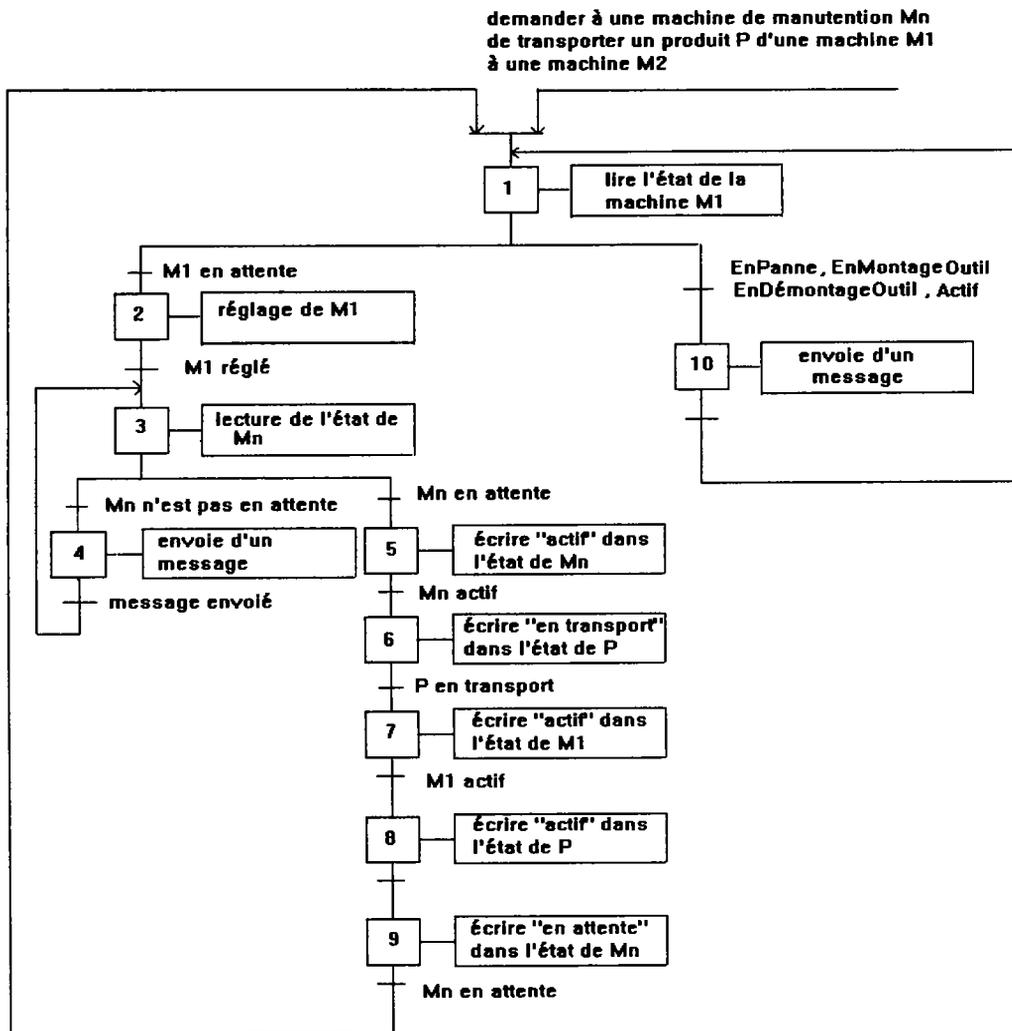
CADENCE (distribué par Log'in)

WITNESS

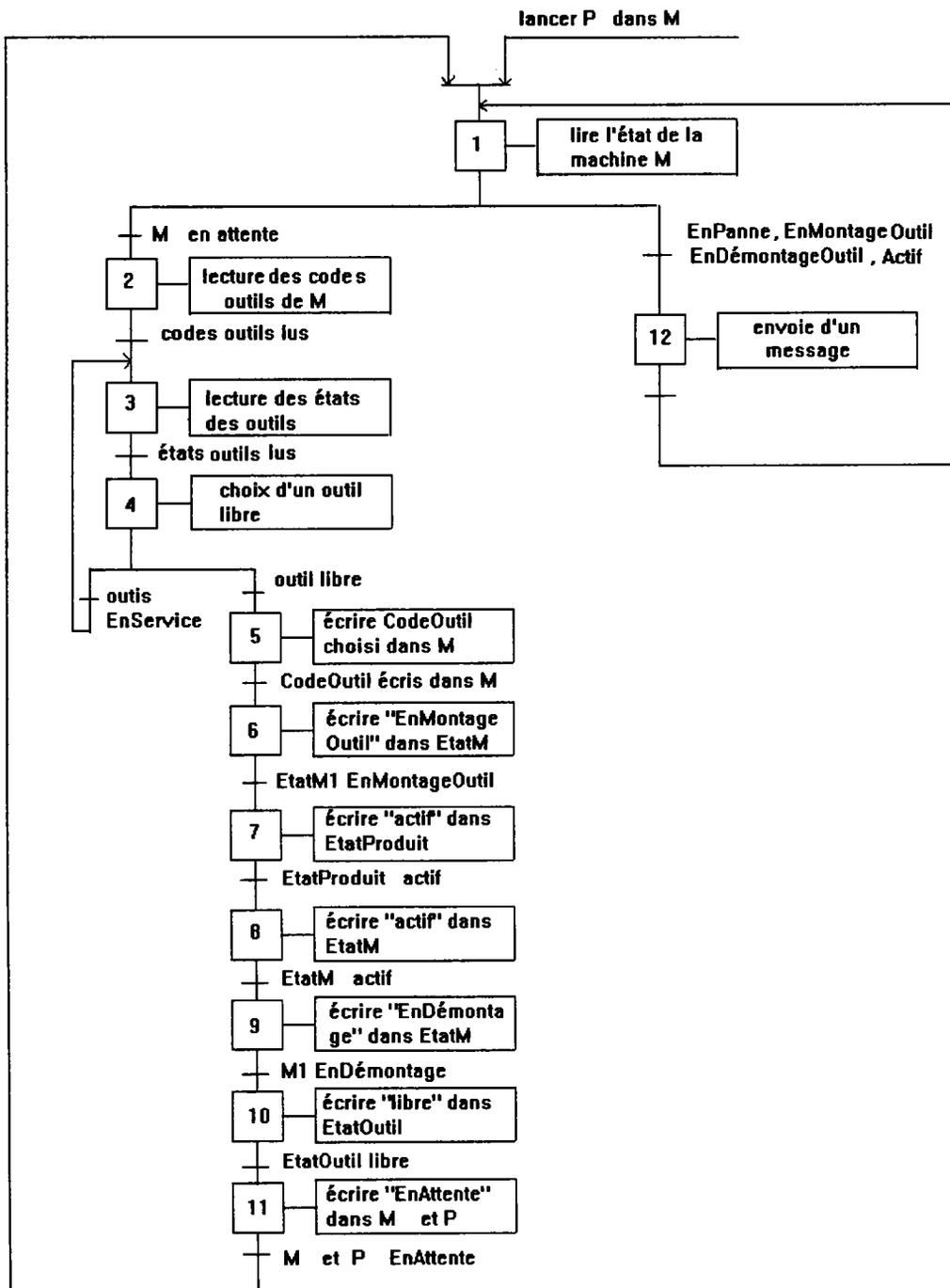
AUTOMOD (distribué par MBI)

ANNEXE 4

MODELISATION DES FONCTIONS A L'AIDE DU GRAFCET

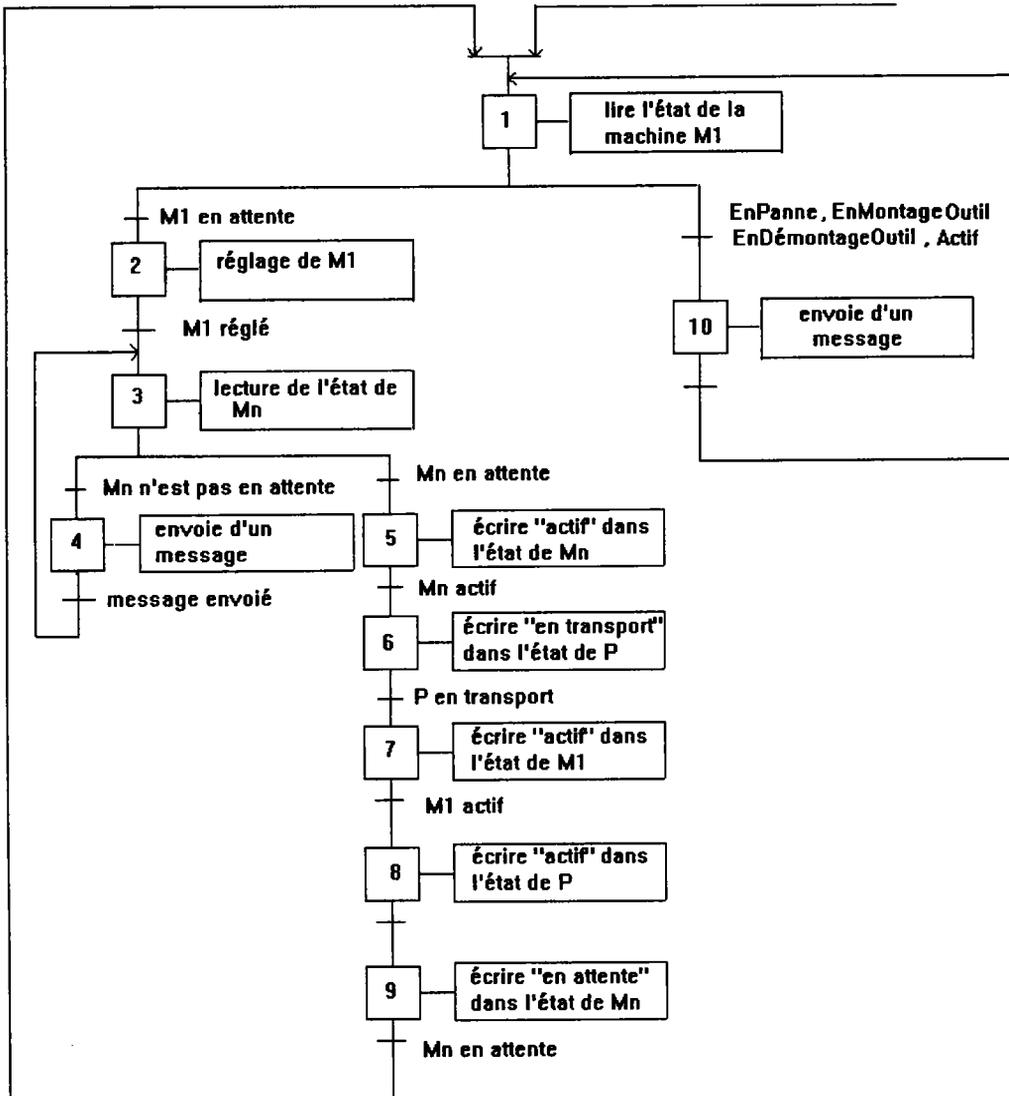


**Fonction " demander à une machine de manutention Mn
de transporter un produit P d'une machine M1 vers
une machine M2**



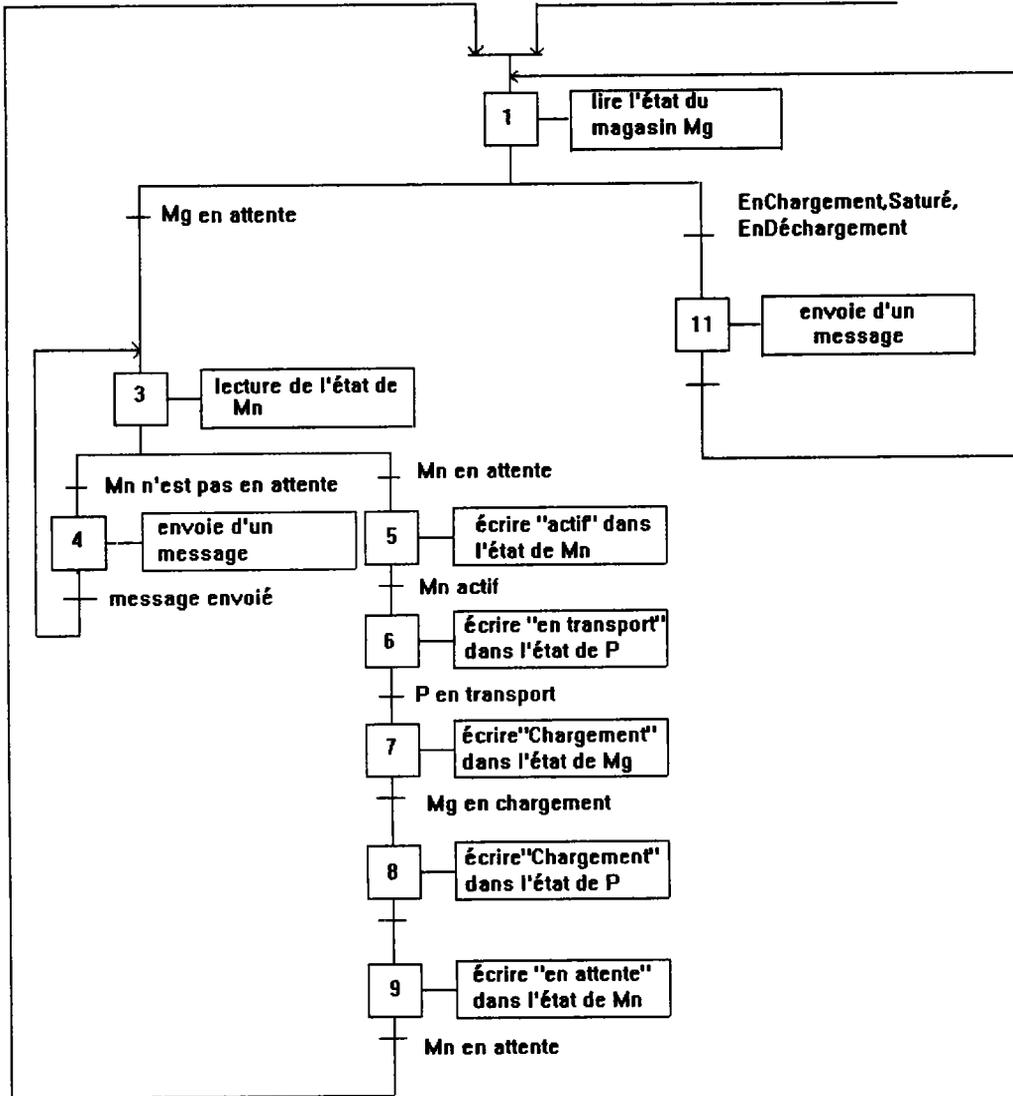
Fonction "lancer un produit P dans une machine M"

demander à une machine de manutention Mn
de transporter un produit P d'un magasin Mg
à une machine M1

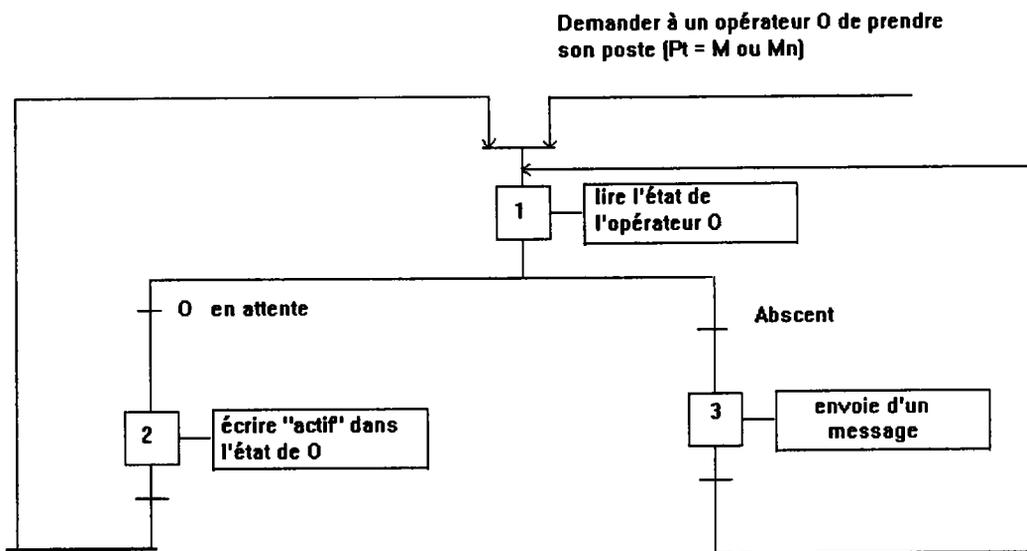


**Fonction "demander à une machine de manutention Mn
de transporter un produit P d'un magasin Mg1 vers
une machine M1**

demander à une machine de manutention Mn
de transporter un produit P d'un magasin Mg
à une machine M



**Fonction "demander à une machine de manutention Mn
de transporter un produit P d'une machine M vers
un magasin Mg**



Fonction 'Demander à un opérateur de prendre son poste Pt

ANNEXE 5 PROGRAMME

Programme modèle

```

BEGIN;
;*****
;Lecture des besoins
;*****
CREATE;
boucle1 READ,          1:
                      Stock_C1,Stock_C2,Stock_C3,
                      Stock_C4,Stock_C5,Stock_C6,
                      Stock_S1,Stock_S2,Stock_S3,
                      Stock_S4,Stock_P1,Stock_P2;
DUPLICATE:            Stock_C1,StockC1:
                      Stock_C2,StockC2:
                      Stock_C3,StockC3:
                      Stock_C4,StockC4:
                      Stock_C5,StockC5:
                      Stock_C6,StockC6:
                      Stock_S1,StockS1:
                      Stock_S2,StockS2:
                      Stock_S3,StockS3:
                      Stock_S4,StockS4:
                      Stock_P1,StockP1:
                      Stock_P2,StockP2;
READ,                2:
                      Quant_C1,Quant_C2,Quant_C3,
                      Quant_C4,Quant_C5,Quant_C6,
                      Quant_S1,Quant_S2,Quant_S3,
                      Quant_S4,Quant_P1,Quant_P2;
ASSIGN:              Quant_jour_C1_S1 =
                      Quant_jour_C1_S1 + Quant_S1:
                      Quant_jour_C3_S4 =
                      Quant_jour_C3_S4 + Quant_S4:
                      Quant_jour_C1_S3 =
                      Quant_jour_C1_S3 + Quant_S3:
                      Quant_jour_C3_S3 =
                      Quant_jour_C3_S3 + Quant_S3:
                      Quant_jour_S3_P1 =
                      Quant_jour_S3_P1 + Quant_P1:
                      Quant_jour_S3_P2 =
                      Quant_jour_S3_P2 + Quant_P2;
DUPLICATE:           Quant_C1,Tour1:
                      Quant_C2,QueueC2:
                      Quant_C3,QueueC3:
                      Quant_C4,QueueC4:
                      Quant_C5,QueueC5:
                      Quant_C6,QueueC6;
DELAY:               Periode:

```

```

NEXT(boucle1);
;*****
;Production de C1
;*****
;Tour
;*****
Tour1  ROUTE:      RTour1,STour1;
STour1 STATION,   STour1;
QueueC1 ASSIGN:   TYPE = 1;
                        DureeTour1 = DureeTour1C1;
                        DureeAleseuse =
                        DureeAleseuseC1;
                        DureeFraiseusel =
                        DureeFraiseuselC1;
Tour1C1 QUEUE,    QTour1C1;
                        DETACH;
                        QPICK:      Tour1C1:
                                Tour1P2;
                        SEIZE:      Tour1;
                        DELAY:      DureeTour1;
                        RELEASE:    Tour1;
                        BRANCH,     1:
                                if,type == 1,Aleseuse:
                                else,StockP2;
;*****
;Aleseuse
;*****
Aleseuse ROUTE:     RAleseuse,SAleseuse;
SAleseuse STATION, SAleseuse;
AleseuseC1 QUEUE,  QAleseuseC1;
                        SEIZE:      Aleseuse;
                        DELAY:      DureeAleseuse;
                        RELEASE:    Aleseuse;
;*****
;Fraiseuse 1
;*****
ROUTE:      RFraiseusel,SFraiseusel;
STATION,    SFraiseusel;
QUEUE,      QFraiseuselC1;
SEIZE:      Fraiseusel;
DELAY:      DureeFraiseusel;
RELEASE:    Fraiseusel;
stockC1 ASSIGN:  TYPE = 1;
QUEUE,      testC1;
SCAN:       Quant_jour_C1_S1+
            Quant_jour_C1_S3>0;
BRANCH,     1:
            if,Quant_jour_C1_S1>0,
            Verif_C1_S1:
            if,Quant_jour_C1_S3>0,
            Verif_C1_S3;
;
;C1 vers S1
;
Verif_C1_S1 QUEUE,  QCOMB_C1_S1;
COMBINE:          COMB_C1_S1;
ASSIGN:          Quant_jour_C1_S1 =
                Quant_jour_C1_S1 - 1;
                NEXT(QueueS1);
;
;C1 vers S3
;

```

Type 12

```

Verif_C1_S3 QUEUE,      QCOMB_C1_S3;
COMBINE:                COMB_C1_S3;
ASSIGN:                 Quant_jour_C1_S3 =
                        Quant_jour_C1_S3 - 1;
ROUTE:                 RAssemblageA,SAssemblageA;
STATION,                SAssemblageA;
ASSIGN:                 m = 11;
Q_C1_S3 QUEUE,         Q_C1_S3:
                        DETACH;
;*****
;Production de C2
;*****
queueC2 ASSIGN:        TYPE = 2:
                        DureeControle1 =
                        DureeControle1C2;
;*****
;SControle1
;*****
Controle1 ROUTE:       RControle1,SControle1;
SControle1 STATION,   SControle1;
controle1C2 QUEUE,    QControle1C2:
                        DETACH;
QPICK:                 Controle1C3:
                        Controle1C2:
                        Controle1C6;
SEIZE:                 Controle1;
DELAY:                 DureeControle1;
RELEASE:               Controle1;
BRANCH,                1:
                        IF,type == 3,StockC3:
                        else,StockC2;
StockC2 ASSIGN:        TYPE = 2;
QUEUE,                 QCOMB_C2_S2;
COMBINE:               COMB_C2_S2;
ASSIGN:                 TYPE = 8;
Q_C2_S2 QUEUE,         Q_C2_S2:
                        DETACH;
;*****
;Production de C3
;*****
queueC3 ASSIGN:        TYPE = 3:
                        DureeControle1 =
                        DureeControle1C3;
Controle1A ROUTE:     RControle1A,SControle1A;
STATION,                SControle1A;
ASSIGN:                 m = 2;
Controle1C3 QUEUE,    QControle1C3:
                        DETACH;
StockC3 ASSIGN:        !Arrivee type 3 dans station
controle1
                        TYPE = 3;
QUEUE,                 testC3;
SCAN:                 Quant_jour_C3_S3+
                        Quant_jour_C3_S4>0;
BRANCH,                1:
                        if,Quant_jour_C3_S4>0,
                        Verif_C3_S4:
                        IF,Quant_jour_C3_S3>0,
                        Verif_C3_S3;
;
;C3 vers S4
;
Verif_C3_S4 QUEUE,    QCOMB_C3_S4;

```

ASSEMBLAGE

TYPE 2

STATION CONTROLE1

```

COMBINE:      COMB_C3_S4;
ROUTE:       RSoudageB,SSoudageB;
STATION,    SSoudageB;
ASSIGN:      m = 10;                ! SOUDAGE
           Quant_jour_C3_S4 =
           Quant_jour_C3_S4 - 1;
Q_C3_S4  QUEUE,    Q_C3_S4:
           DETACH;

;
;C3 vers S3
;
Verif_C3_S3 ASSIGN:    Quant_jour_C3_S3 =
           Quant_jour_C3_S3 - 1;
           ROUTE:      RAssemblage,SAssemblage;
           STATION,    SAssemblage;
           ASSIGN:     m = 11;                ASSEMBLAGE
Q_C3_S3  QUEUE,    Q_C3_S3:
           DETACH;

;*****
;Production de C4
;*****
queueC4  ASSIGN:    TYPE = 4:
           DureePerceuse =
           DureePerceuseC4:
           DureeBrocheuse =
           DureeBrocheuseC4:
           DureeEbavureuse =
           DureeEbavureuseC4;

;*****
;Perceuse
;*****
Perceuse ROUTE:      RPerceuse,SPerceuse;
SPerceuse STATION,  SPerceuse;
PerceuseC4 QUEUE,  QPerceuseC4:
           DETACH;
           QPICK:    PerceuseC4:
           PerceuseC5;
           SEIZE:    Perceuse;
           DELAY:    DureePerceuse;
           RELEASE:  Perceuse;
           BRANCH:   if,type == 4,Brocheuse:
           else,StockC5;                TYPE 5

;*****
;Brocheuse
;*****
Brocheuse ROUTE:      RBrocheuse,SBrocheuse;
SBrocheuse STATION,  SBrocheuse;
BrocheuseC4 QUEUE,  QBrocheuseC4;
           SEIZE:    Brocheuse;
           DELAY:    DureeBrocheuse;
           RELEASE:  Brocheuse;

;*****
;Ebavureuse
;*****
Ebavureuse ROUTE:    RBrocheuse,SEbavureuse;
SEbavureuse STATION, SEbavureuse;
           QUEUE,    QEbavureuseC4;
           SEIZE:    Ebavureuse;
           DELAY:    DureeEbavureuse;
           RELEASE:  Ebavureuse;
StockC4  ASSIGN:    TYPE = 4;
Q_C4_S2  QUEUE,    Q_C4_S2:
           DETACH;

```

```

;*****
;Production de C5
;*****
QueueC5 ASSIGN:      TYPE = 5:
                    DureeFraiseuse2 =
                    DureeFraiseuse2C5:
                    DureePerceuse =
                    DureePerceuseC5;
;*****
;Fraiseuse 2
;*****
Fraiseuse2 ROUTE:    RFraiseuse2,SFraiseuse2;
SFraiseuse2 STATION, SFraiseuse2;
Fraiseuse2C5 QUEUE, QFraiseuse2C5:
                    DETACH;
                    QPICK:      Fraiseuse2C5:
                                Fraiseuse2S2;
                    SEIZE:      Fraiseuse2;
                    DELAY:      DureeFraiseuse2;
                    RELEASE:    Fraiseuse2;
                    BRANCH,     1:
                                if,type == 8,StockS2:
                                else,PerceuseA;
                                TYPE = 5
PerceuseA ROUTE:    RPerceuseA,SPerceuseA;
                    STATION,    SPerceuseA;
SPerceuseC5 ASSIGN: m = 7;
PerceuseC5 QUEUE,  QPerceuseC5:
                    DETACH;
StockC5 ASSIGN:    TYPE = 5;
                    ROUTE:      RSoudageA,SSoudageA;
                    STATION,    SSoudageA;
                    ASSIGN:     m = 10;
                    SOUDAGE
Q_C5_S4 QUEUE,    Q_C5_S4:
                    DETACH;
;*****
;Production de C6
;*****
queueC6 ASSIGN:    TYPE = 6:
                    DureeControle1 =
                    DureeControle1C6;
Controle1B ROUTE:  RControle1B,SControle1B;
                    STATION,    SControle1B;
                    ASSIGN:     m = 2;
                    CONTROLE 1
Controle1C6 QUEUE, QControle1C6:
                    DETACH;
StockC6 ASSIGN:    TYPE = 6;
                    ROUTE:      RControle1C,SControle1C;
                    STATION,    SControle1C;
                    ASSIGN:     m = 2;
                    CONTROLE 1
Q_C6_P2 QUEUE,    Q_C6_P2:
                    DETACH;
;*****
;Assemblage de S1
;*****
;Soudage
;*****
Soudage ROUTE:     RSoudage,SSoudage;
SSoudage STATION, SSoudage;
QueueS1 ASSIGN:    TYPE = 7:
                    DureeSoudage =DureeSoudageS1;
SoudageS1 QUEUE,  QSoudageS1:
                    DETACH;

```

```

QPICK:          SoudageS1:
                SoudageP2:
                SoudageS4;

SEIZE:          Soudage;
DELAY:          DureeSoudage;
RELEASE:        Soudage;
BRANCH,        1:
                if,type == 7,StockS1:
                if,type == 10,Tour2:
                else,Tour1A;
StockS1 ASSIGN: TYPE = 7;
ROUTE:          RAssemblageD,SAssemblageD;
STATION,
ASSIGN:          m = 11;
COUNT:         S1;
QUEUE,          QCOMB_S1_P1;
COMBINE:        COMB_S1_P1;
Q_S1_P1 QUEUE,  Q_S1_P1:
                DETACH;

;*****
;Assemblage de S2
;*****
;*****
;Assemblage
;*****
MATCH:          Q_C2_S2,queueS2:
                Q_C4_S2;
QueueS2 ASSIGN: TYPE = 8:
                DureeAssemblage =
                DureeAssemblageS2:
                DureeFraiseuse2 =
                DureeFraiseuse2S2;
ROUTE:          RAssemblageE,SAssemblageE;
STATION,
ASSIGN:          m = 11;
AssemblageS2 QUEUE, QAssemblageS2:
                DETACH;
QPICK:          AssemblageS2:
                AssemblageS3:
                AssemblageP1:
                AssemblageP2;
SEIZE:          Assemblage;
DELAY:          DureeAssemblage;
RELEASE:        Assemblage;
BRANCH,        1:
                if,type == 8,Fraiseuse2A:
                if,type == 9,CounterS3:
                if,type == 11,Controle2:
                else,SoudageD;
Fraiseuse2A ROUTE: RFraiseuse2A,SFraiseuse2A;
STATION,
ASSIGN:          m = 6;
Fraiseuse2S2 QUEUE, QFraiseuse2S2:
                DETACH;
StockS2 ASSIGN: TYPE = 8;
ROUTE:          RAssemblageF,SAssemblageF;
STATION,
ASSIGN:          m = 11;
COUNT:         S2;
QUEUE,          QCOMB_S2_P1;
COMBINE:        COMB_S2_P1;
Q_S2_P1 QUEUE,  Q_S2_P1:
                DETACH;

```

TYPE 12

ASSEMBLAGE

ASSEMBLAGE

TYPE 12

FRAISEUSE2

ASSEMBLAGE

```

;*****
;Assemblage de S3
;*****
MATCH:          Q_C1_S3,queueS3:
                Q_C3_S3;
QueueS3 ASSIGN:  TYPE = 9:
                DureeAssemblage =
                DureeAssemblageS3;
ROUTE:          RAssemblageG,SAssemblageG;
STATION,        SAssemblageG;
ASSIGN:         m = 11;                ASSEMBLAGE
AssemblageS3 QUEUE, QAssemblageS3:
                DETACH;
StockS3 ASSIGN: type = 9;
CounterS3 COUNT: S3;
                testS3;
                SCAN: Quant_jour_S3_P1+
                Quant_jour_S3_P2>0;
BRANCH,         1:
                if,Quant_jour_S3_P1>0,
                Verif_S3_P1:
                IF,Quant_jour_S3_P2>0,
                Verif_S3_P2;
;
;S3 vers P1
;
Verif_S3_P1 QUEUE, QCOMB_S3_P1;
COMBINE:        COMB_S3_P1;
ASSIGN:         Quant_jour_S3_P1 =
                Quant_jour_S3_P1 - 1;
Q_S3_P1 QUEUE,  Q_S3_P1:
                DETACH;
;
;S3 vers P2
;
Verif_S3_P2 QUEUE, QCOMB_S3_P2;
COMBINE:        COMB_S3_P2;
ASSIGN:         Quant_jour_S3_P2 =
                Quant_jour_S3_P2 - 1;
Q_S3_P2 QUEUE,  Q_S3_P2:
                DETACH;
;*****
;Assemblage de S4
;*****
MATCH:          Q_C3_S4,queueS4:
                Q_C5_S4;
QueueS4 ASSIGN:  TYPE = 10:
                DureeSoudage =DureeSoudageS4:
                DureeTour2 = DureeTour2S4;
ROUTE:          RSoudageC,SSoudageC;
STATION,        SSoudageC;
ASSIGN:         m = 10;                SOUDAGE
SoudageS4 QUEUE, QSoudageS4:
                DETACH;
;*****
;Tour 2
;*****
Tour2 ROUTE:     RTour2,STour2;
STour2 STATION, STour2;
Tour2S4 QUEUE,  QTour2S4;
SEIZE:         Tour2;
DELAY:         DureeTour2;
RELEASE:       Tour2;

```

```

StockS4 ASSIGN:      type = 10;
COUNT:             S4;
QUEUE,              QCOMB_S4_P2;
COMBINE:            COMB_S4_P2;
Q_S4_P2 QUEUE,     Q_S4_P2:
                    DETACH;
;*****
;Assemblage de P1
;*****
;*****
;Controle 2
;*****
MATCH:              Q_S1_P1,queueP1:
                    Q_S2_P1:
                    Q_S3_P1;
QueueP1 ASSIGN:    TYPE = 11:
DureeAssemblage =
DureeAssemblageP1:
DureeControle2 =
DureeControle2P1;
AssemblageP1 QUEUE,
QAssemblageP1:
DETACH;
Controle2 ROUTE:   RControle2,SControle2;
STATION,           SControle2;
Controle2P1 QUEUE,
QControle2P1:
SEIZE:              Controle2;
DELAY:              DureeControle2;
RELEASE:           Controle2;
stockP1 ASSIGN:    type = 11;
COUNT:            P1:
DISPOSE;
;*****
;Assemblage de P2
;*****
MATCH:              Q_S3_P2,queueP2:
                    Q_S4_P2:
                    Q_C6_P2;
QueueP2 ASSIGN:    TYPE = 12:
DureeAssemblage =
DureeAssemblageP2:
DureeSoudage =DureeSoudageP2:
DureeTour1 = DureeTour1P2;
ROUTE:             RAssemblageH,SAssemblageH;
STATION,           SAssemblageH;
ASSIGN:            m = 11;
AssemblageP2 QUEUE,
QAssemblageP2:
DETACH;
SoudageD ROUTE:    RSoudageD,SSoudageD;
STATION,           SSoudageD;
ASSIGN:            m = 10;
SoudageP2 QUEUE,
QSoudageP2:
DETACH;
Tour1A ROUTE:      RTour1A,STour1A;
STATION,           STour1A;
ASSIGN:            m = 3;
Tour1P2 QUEUE,     QTour1P2:
DETACH;
stockP2 ASSIGN:    type = 12;
COUNT:            P2:
DISPOSE;
END;
ASSEMBLAGE
SOUDAGE
TOUR1

```

Programme de données

```

BEGIN;
PROJECT,          test,Nour Eddine;
VARIABLES:       Quant_jour_C2_S1,0:
                  Quant_jour_S3_P1:
                  Quant_jour_S3_P2,0:
                  Quant_jour_C1_S1,0:
                  Quant_jour_C1_S3,0:
                  Quant_Jour_C3_S2,0:
                  Quant_jour_C4_S2,0:
                  Quant_jour_C3_S3,0:
                  Quant_jour_C3_S4:
                  Quant_jour_C4_P2,0:
                  COMB_C1_S3,2:
                  COMB_C2_S1,4:
                  COMB_C2_S2,3:
                  COMB_C3_S2,2:
                  COMB_C3_S4,4:
                  COMB_C4_P2,2:
                  COMB_C1_S1,2:
                  COMB_S1_P1,2:
                  COMB_S2_P1,3:
                  COMB_S3_P1,2:
                  COMB_S3_P2,2:
                  COMB_S4_P2,2:
                  Periode,288:
                  DureeTour1:
                  DureeTour2:
                  DureeFraiseuse1:
                  DureeFraiseuse2:
                  DureeSoudage:
                  DureeAleseuse:
                  DureeControle1:
                  DureeBrocheuse:
                  DureeControle2:
                  DureePerceuse:
                  DureeEbavureuse:
                  DureeAssemblage:
                  DUREEC1,0.5:
                  DUREEC2,0.5:
                  DUREEC3,0.5:
                  DUREEC4,0.25:
                  DUREES1,1:
                  DUREES2,0.5:
                  DUREES3,1.5:
                  DUREEP1,2:
                  DUREEP2,3:
                  Quant_C1:
                  Quant_C2:
                  Quant_C3:
                  Quant_C4:
                  Quant_C5:
                  Quant_C6:
                  Quant_S1:
                  Quant_S2:
                  Quant_S3:
                  Quant_S4:
                  Quant_P1:
                  Quant_P2:
                  Stock_C1:
                  Stock_C2:

```

Stock_C3:
 Stock_C4:
 Stock_C5:
 Stock_C6:
 Stock_S1:
 Stock_S2:
 Stock_S3:
 Stock_S4:
 Stock_P1:
 Stock_P2:
 RAleseuse,1:
 RControle1,3:
 RTour1,1:
 RTour2,1:
 RFraiseuse1,0.1:
 RFraiseuse2,0.5:
 RPerceuse,1:
 REbavureuse,1:
 RBrocheuse,1:
 RSoudage,1:
 RAssemblage,0.2:
 RControle2,1:
 RAssemblageA,1:
 RAssemblageB,1:
 RAssemblageC,0.4:
 RAssemblageD,1:
 RAssemblageE,1:
 RAssemblageF,0.1:
 RAssemblageG,1:
 RAssemblageH,1:
 RSoudageA,0.3:
 RSoudageB,1:
 RSoudageC,1:
 RSoudageD,1:
 RPerceuseA,1:
 RPerceuseB,1:
 RTour1A,1:
 RControle1A,1:
 RControle1B,1:
 RControle1C,1:
 RFraiseuse2A,1:
 1,,"D:\stocks.mrp",,FREE,DIS:
 2,,"D:\Results.mrp",,FREE,DIS;
 1,TYPE:
 DureeTour1C1,4:
 DureeAleseuseC1,6:
 DureeFraiseuse1C1,4:
 DureeControle1C2,5:
 DureeControle1C3,5:
 DureePerceuseC4,2:
 DureeBrocheuseC4,20:
 DureeEbavureuseC4,2:
 DureeFraiseuse2C5,4:
 DureePerceuseC5,2:
 DureeControle1C6,5:
 DureeSoudageS1,20:
 DureeAssemblageS2,10:
 DureeFraiseuse2S2,5:
 DureeAssemblageS3,5:
 DureeSoudageS4,40:
 DureeTour2S4,4:
 DureeAssemblageP1,25:
 DureeControle2P1,10:

FILES:

ATTRIBUTES:

```

DureeAssemblageP2,7:
DureeSoudageP2,30:
DureeTour1P2,3;
LAYOUTS:      ,TYPE;
STATIONS:     1,SAleseuse:
               2,SControle1:
               3,STour1:
               4,STour2:
               5,SFraiseuse1:
               6,SFraiseuse2:
               7,SPerceuse:
               8,SEbavureuse:
               9,SBrocheuse:
               10,SSoudage:
               11,SAssemblage:
               12,SControle2:
               13,SAssemblageA:
               14,SAssemblageB:
DSTATS:       5,P1:
               6,P2;
               1,nr(TOUR1),Utilisation Tour 1,
               "TOUR1.OUT":
               2,nr(TOUR2),Utilisation Tour 2,
               "TOUR2.OUT":
               3,nr(FRAISEUSE1),
               Utilisation Fraiseuse 1,
               "FRAISE1.OUT":
               4,nr(FRAISEUSE2),
               Utilisation Fraiseuse 2,
               "FRAISE2.OUT":
               5,nr(SOUDAGE),Utilisation Soudage,
               "SOUDAGE.OUT":
               6,nr(ASSEMBLAGE),
               Utilisation Assemblage,
               "ASSEMBL.OUT":
               7,nr(CONTROLE1),
               Utilisation Controle 1,
               "CONTROL1.OUT":
               8,nr(CONTROLE2),
               Utilisation Controle 2,
               "CONTROL2.OUT":
               9,nr(ALESEUSE),
               Utilisation Aleseuse,
               "ALESEUSE.OUT":
               10,nr(EBAVUREUSE),
               Utilisation Ebavureuse,
               "EBAVUR.OUT":
               11,nr(BROCHEUSE),
               Utilisation Brocheuse,
               15,SAssemblageC:
               16,SAssemblageD:
               17,SAssemblageE:
               18,SAssemblageF:
               19,SAssemblageG:
               20,SAssemblageH:
               21,SSoudageA:
               22,SSoudageB:
               SSoudageC:
               SSoudageD:
               SFraiseuse2A:
               STour1A:
               SPerceuseA:
               SControle1A:

```

SControle1B:
 SControle1C;
 QAléseuseC1:
 QTour1C1:
 QFraiseuse1C1:
 QControle1C2:
 QControle1C3:
 QPerceuseC4:
 QBrocheuseC4:
 QEbavureuseC4:
 QFraiseuse2C5:
 QPerceuseC5:
 QControle1C6:
 QSoudageS1:
 QAssemblageS2:
 QFraiseuse2S2:
 QAssemblageS3:
 QAssemblageP1:
 QControle2P1:
 QAssemblageP2:
 QSoudageP2:
 QTour1P2:
 QSoudageS4:
 QTour2S4:
 Q_C1_S3:
 Q_C2_S2:
 Q_C3_S4:
 Q_C3_S3:
 Q_C4_S2:
 Q_C5_S4:
 Q_C6_P2:
 Q_S1_P1:
 Q_S2_P1:
 Q_S3_P1:
 Q_S3_P2:
 Q_S4_P2:
 QCOMB_C1_S1:
 QCOMB_C1_S3:
 QCOMB_C2_S2:
 QCOMB_C3_S4:
 QCOMB_S1_P1:
 QCOMB_S2_P1:
 QCOMB_S3_P1:
 QCOMB_S3_P2:
 QCOMB_S4_P2:
 TestC1:
 TestC3:
 TestS3;
 Tour1:
 Tour2:
 Fraiseuse1:
 fraiseuse2:
 Soudage:
 Assemblage:
 Controle1:
 Controle2:
 Aléseuse:
 Ebavureuse:
 Brocheuse:
 Perceuse;
 1,S1:
 2,S2:
 3,S3:

QUEUES:

RESOURCES:

COUNTERS:

```
4, S4:  
"BROCHEUS.OUT":  
12, nr(PERCEUSE),  
Utilisation Perceuse, "PERCEUSE";  
, , 6000;  
REPLICATE,  
END;
```