



**HAL**  
open science

# Systèmes de contrôle de la qualité de production : méthodologie de modélisation, de pilotage et d'optimisation des systèmes de production

Khalaf Alahmad

► **To cite this version:**

Khalaf Alahmad. Systèmes de contrôle de la qualité de production : méthodologie de modélisation, de pilotage et d'optimisation des systèmes de production. Autre. Université Paul Verlaine - Metz, 2008. Français. NNT : 2008METZ001S . tel-01752561

**HAL Id: tel-01752561**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01752561v1>**

Submitted on 29 Mar 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# THÈSE DE DOCTORAT

Présentée à

**L'UNIVERSITÉ PAUL VERLAINE-METZ**

Pour l'obtention du grade de

Docteur de l'Université Paul Verlaine de Metz

Spécialité : **Génie Industriel**

Par

**KHALAF ALAHMAD**

## **Systemes de contrôle de la qualité de production : Méthodologie de Modélisation, de Pilotage et d'Optimisation des Systemes de Production**

Soutenue le 12 mars 2008 devant le jury composé de :

**BERNARD LAGET**

Professeur à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint Etienne  
(Rapporteur)

**MOUFID MOUWAKEH**

Professeur à l'Université d'Alep (Rapporteur)

**NOUREDDINE ZERHOUNI**

Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et des  
Microtechniques de Besançon (Examinateur)

**PIERRE PADILLA**

Professeur et Directeur de l'ENIM (Directeur de thèse)

**CHRISTIAN CLEMENTZ**

Professeur à l'ENIM (Co-encadrant)

**ALEXANDRE SAVA**

Maître de Conférences à l'ENIM (Co-encadrant)



*A MA FAMILLE*



## ***Remerciements***

Le travail de thèse présenté dans ce mémoire a été effectué à l'ENIM (Ecole National d'ingénieur de Metz) et au LGIPM (Laboratoire de Génie Industriel et Production Mécanique) dans l'équipe SdP (Systèmes de Production) à l'Université Paul Verlaine-Metz.

Je tiens à traduire ma respectueuse reconnaissance à mon directeur de thèse, Monsieur directeur d'enim le Professeur P. PADILLA, de m'avoir accueilli au sein de son équipe de recherche et d'avoir accepté de diriger ce travail. Qu'il soit remercié en premier pour sa grande disponibilité, son suivi continu, ses conseils constructifs et la qualité de ses idées qui m'ont permis d'atteindre la finalité de ce travail.

J'exprime toute ma gratitude à mon Co-encadrant de thèse M. C. CLEMENTZ, pour son aide, sa compréhension, sa gentillesse et sa compétence qu'elle m'a témoignées tout au long de ces années.

Aussi, j'exprime toute ma gratitude à mon Co-encadrant de thèse M. A. SAVA, pour son aide, sa compréhension, sa gentillesse et sa compétence qu'elle m'a témoignées tout au long de ces années.

Ma gratitude et mes remerciements vont ensuite aux membres du jury qui ont bien voulu me faire l'honneur de participer à ce jury :

- **M. Bernard LAGET**, Professeur, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint Etienne, Rue Jean Parot, 42023 Saint Etienne, France.
- **M. Moufid MOUWAKEH**, Professeur, Université d'Alep, Faculté de Génie Mécanique, Alep, Syrie.
- **M. Noureddine ZERHOUNI**, Professeur, Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques de Besançon, chemin de l'Epitaphe, 25030 Besançon, France.

J'adresse mes remerciements le plus chaleureux aux membres de l'équipe de SDP pour leur sympathie et leur convivialité.

C'est le moment aussi de dire un grand merci à tous ceux qui m'ont aidé pour que je puisse réaliser mes études supérieures par leurs encouragements. Je cite surtout ma mère, mes sœurs, et tous mes amis. J'exprime mes plus sincères gratitudes à toutes ces personnes : vous étiez toujours présents ici, malgré la distance, avec votre humour, votre charme et votre chaleur.

Enfin un remerciement très particulier à celui donné le courage pour surmonter les moments difficiles durant cette thèse, pour son soutien et sa confiance à ma femme et mes enfants.

Encore une fois, merci à toutes et à tous

<b><i>Table de Matières</i></b>
---------------------------------

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>15</b>
<b>CHAPITRE I .....</b>	<b>21</b>
<b>Système de production &amp; Contrôle de la qualité.....</b>	<b>21</b>
I.1 Qualité.....	23
I.2 Système de management de la qualité .....	25
I.3 Approche Processus .....	27
I.3.1 Vision hiérarchique et vision processus .....	29
I.4 Système de production .....	30
I.5 Problématique .....	32
I.6 Modélisation du système de production.....	34
I.7 Optimisation du système de production.....	35
I.7.1 Méthodes d'optimisation exactes.....	38
I.7.1.1 Méthodes analytiques .....	38
I.7.1.2 Méthodes algorithmiques.....	38
I.7.2 Méthodes d'optimisation heuristiques ou méta-heuristiques.....	40
I.7.2.1 Méthodes de recherche locale définies par un voisinage .....	40
I.7.2.1.1 Algorithme du Grimpeur (ou de la descente stochastique).....	40
I.7.2.1.2 Algorithme de la plus grande pente .....	41
I.7.2.2 Méthodes d'exploration aléatoire.....	42
I.7.2.3 Méthodes méta-heuristiques .....	43
I.7.2.3.1 Méthode TABOU.....	43
I.7.2.3.2 Recuit Simulé.....	43
I.8 Conclusion.....	46
<b>CHAPITRE II.....</b>	<b>47</b>
<b>Approche de mise en place et modélisation d'un système de management de la</b>	
<b>qualité .....</b>	<b>47</b>
II.1 Mise en place d'un système de management de la qualité .....	49
II.2 Description de l'entreprise .....	51
II.2.1 Objectif du service maintenance .....	52
II.2.2 Ressources du service maintenance .....	52
II.2.3 Indicateurs de maintenance .....	53
II.3 Application de la méthode de mise en place de système de management de la	
qualité .....	53
II.4 Approche formelle .....	61
II.4.1 Famille d'IDEF.....	61
II.4.1.1 IDEF0/SADT.....	62
II.4.1.2 IDEF3 .....	66



II.5 Modèle SADT du service de maintenance .....	68
II.6 Modèle IDEF3 .....	73
II.7 Conclusion .....	73
<b>CHAPITRE III .....</b>	<b>77</b>
<b>Du SADT aux réseaux de Petri .....</b>	<b>77</b>
III.1 L'outil réseaux de Petri .....	79
III.1.1 Quelques définitions d'un RdP.....	80
III.1.2 RdP Temporisés .....	82
III.1.3 RdP stochastique.....	83
III.2 Passage du IDEF0/SADT aux réseaux de Petri.....	84
III.3 Application .....	91
III.4 SADT temporel .....	97
III.5 Comparaison.....	103
III.6 Conclusion.....	104
<b>CHAPITRE IV .....</b>	<b>107</b>
<b>Optimisation des ressources .....</b>	<b>107</b>
IV.1 Optimisation de ressources.....	109
IV.2 Méthode d'optimisation de ressources proposée .....	112
IV.3 Application .....	115
IV.3.1 Modèle SADT.....	117
IV.3.2 Modèle réseau de Petri .....	118
IV.3.3 Résultats numériques .....	121
IV.3.3.1 Résultats obtenus par le Recuit simulé .....	124
IV.3.3.2 Méthode proposée.....	125
IV.4 Conclusion.....	126
<b>CHAPITRE V .....</b>	<b>129</b>
<b>Analyse de différentes politiques de contrôle de la qualité .....</b>	<b>129</b>
V.1 Politiques de contrôle .....	131
V.2 Méthode utilisée .....	132
V.2.1 Contrôle par échantillonnage et opérateurs polyvalents (scénario 1).....	132
V.2.2 Contrôle avec régleur (scénario 2).....	136
V.2.3 Contrôle par lot (scénario 3) .....	137
V.3 Méthode d'optimisation .....	139
V.4 Résultats numériques.....	140
V.5 Comparaison .....	146
V.6 Conclusion .....	148
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>151</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>155</b>
<b>ANNEXE 1 .....</b>	<b>167</b>
<b>Etapes de création de modèle SADT .....</b>	<b>167</b>

<b>ANNEXE 2 .....</b>	<b>179</b>
<b>Tableaux de calcule de la méthode d'optimisation.....</b>	<b>179</b>



---

**Liste de Tableaux**

Tableau I.1. But de système de management de la qualité [Heitz, 03] .....	26
Tableau III.1. Eléments de SADT et leurs équivalents de RdP selon [Santarek, 97] .....	87
Tableau III.2. Règles pour faire le passage de SADT vers RdP .....	90
Tableau III.3. Description les abréviations du diagramme A0 .....	92
Tableau III.4. Description les abréviations du diagramme A1 .....	95
Tableau III.5. Description les abréviations du diagramme A2 .....	97
Tableau III.6. Comportement des activités dans le diagramme A0 du modèle SADT .....	100
Tableau III.7. Comportement des activités dans le diagramme A1 du modèle SADT .....	101
Tableau III.8. Comportement des activités dans le diagramme A2 du modèle SADT .....	102
Tableau IV.1. Comparaison entre les deux méthodes .....	126
Tableau V.1. Résultats de simulation de scénario 1 .....	141
Tableau V.2. Résultats de simulation de scénario 2 .....	143
Tableau V.3. Résultats de simulation de scénario 3 .....	145
Tableau V.4. Comparaison entre les scénarios .....	148



## *Liste de Figures*

Figure I.1. Système de management de la qualité [Pillet, 01a].....	27
Figure I.2. Principaux éléments d'un processus [Mitonneau, 04].....	28
Figure I.3. Liens entre processus, procédure, produit et client [Mitonneau, 04].....	28
Figure I.4. Entreprise et vision verticale (vision hiérarchique).....	29
Figure I.5. Entreprise et la vision horizontale (vision processus).....	30
Figure I.6. Modèle conceptuel de production [Clementz, 00].....	31
Figure I.7. Notre méthodologie.....	33
Figure I.8. Optimisation et simulation [Castagna, 04].....	36
Figure II.1. Principe du pilotage par la qualité.....	51
Figure II.2. Architecture d'une centrale thermique.....	52
Figure II.3. Schéma du processus de maintenance.....	54
Figure II.4. Fonctionnement du processus de maintenance dans une centrale thermique.....	54
Figure II.5. Schéma de fonctionnement du processus d'achat.....	55
Figure II.6. Modèle explicatif et global de la compétence [Harzallah, 00].....	56
Figure II.7. Digramme cause-effet du service de maintenance dans une centrale thermique..	58
Figure II.8. Risques et leurs contraintes.....	59
Figure II.9. Planifications des améliorations proposées.....	60
Figure II.10. Principe de la méthode SADT.....	63
Figure II.11. Modèle SADT avec des points de vue.....	64
Figure II.12. Actigramme et datagramme du modèle SADT.....	65
Figure II.13. Méta-modèle de IDEF3 [Maye, 95].....	67
Figure II.14. Modèle SADT de centrale thermique - Diagramme A-0.....	69
Figure II.15. Modèle SADT de centrale thermique - Diagramme A0.....	69
Figure II.16. Modèle SADT de centrale thermique - Diagramme A1.....	70
Figure II.17. Modèle SADT de centrale thermique - Diagramme A2.....	71
Figure II.18. Modèle SADT de centrale thermique - Diagramme A3.....	72
Figure II.19. Modèle SADT de centrale thermique - Diagramme A4.....	72
Figure II.20. Modèle IDEF3 du diagramme A2.....	73
Figure II.21. SADT et Principe PDCA.....	75
Figure III.1. Transition de puit et de source.....	82
Figure III.2. RdP temporisé.....	83
Figure III.3. RdP stochastique.....	84
Figure III.4. Représentation d'une tâche.....	85
Figure III.5. Flèches de synchronisation.....	86
Figure III.6. Modélisation des ressources partagées.....	87
Figure III.7. Diagrammes SADT et les RdP équivalents selon [Santarek, 97].....	88

Figure III.8. Modèle SADT - diagramme A0.....	91
Figure III.9. Exemple de ramification d'interfaces.....	93
Figure III.10. Exemple de regroupement d'interfaces.....	93
Figure III.11. Contrôle externe.....	94
Figure III.12. RdP équivalent de diagramme A0.....	94
Figure III.13. RdP équivalent de diagramme A1.....	95
Figure III.14. RdP équivalent de diagramme A2.....	96
Figure III.15. Règles de visualisation des types de flèches [Zaytoon, 93].....	98
Figure III.16. Règles de représentation graphique de comportement des activités.....	99
Figure III.17. Modèle SADT temporel - diagramme A0.....	100
Figure III.18. Modèle SADT temporel - diagramme A1.....	101
Figure III.19. Modèle SADT temporel - diagramme A2.....	102
Figure III.20. Comportement entre les activités.....	103
Figure III.21. SADT temporel et l'outil SADT - RdP ensemble.....	104
Figure IV.1. Ligne de fabrication.....	116
Figure IV.2. Ligne de fabrication avec les effets de réglage et partage de ressources.....	116
Figure IV.3. Modèle SADT.....	117
Figure IV.4. Modèle SADT - Effets de réglages.....	118
Figure IV.5. Modèle RdP – processus de deux machines sans réglage.....	119
Figure IV.6. Modèle RdP – avec les réglages.....	120
Figure IV.7. Algorithme de simulation de la solution.....	123
Figure IV.8. Optimisation de ressources - Recuit simulé.....	124
Figure IV.9. Optimisation de ressources - Notre méthode.....	125
Figure V.1. Contrôle par échantillonnage et ressources polyvalentes.....	133
Figure V.2. Organigramme de simulation de RdP correspondant au scénario 1.....	135
Figure V.3. Contrôle avec régulateur.....	136
Figure V.4. Contrôle par lot.....	137
Figure V.5. Organigramme de simulation de RdP correspondant au scénario 3.....	138
Figure V.6. Evolution de productivité dans le scénario 1.....	140
Figure V.7. Changement de ratio de blocage dans le scénario 1.....	141
Figure V.8. Evolution de productivité dans le scénario 2.....	142
Figure V.9. Changement de ratio de blocage dans le scénario 2.....	143
Figure V.10. Changement de ratio de réglage dans le scénario 3.....	144
Figure V.11. Changement de ratio de blocage dans le scénario 3.....	145
Figure V.12. Comparaison la productivité entre les différents scénarios.....	146
Figure V.13. Comparaison le ratio de temps de blocage entre les différents scénarios.....	147
Figure V.14. Comparaison de ratio de temps de réglage entre les différents scénarios.....	148

# **INTRODUCTION GENERALE**





## ***Introduction Générale***

La qualité est devenue un outil de management et un critère de choix essentiel dans les entreprises qui doivent faire face à une concurrence de plus en plus forte. Le concept de la qualité a évolué en étroite liaison avec l'environnement économique et l'organisation de l'entreprise. Ainsi au début du XXème siècle, la qualité était assimilée à la conformité aux spécifications. La mise en place d'un système qualité reposait exclusivement sur le contrôle unitaire de la production. Ensuite, l'augmentation de la taille des entreprises et du volume de la production a rendu cette pratique trop onéreuse. Le contrôle statistique par échantillonnage, défini et promu par Shewhart se développe. Après la Seconde Guerre mondiale, se développent des secteurs industriels tels que le l'aérospatiale et le nucléaire où les conséquences d'un défaut peuvent être tellement importantes que l'engagement de la responsabilité du fabricant ne suffit plus pour couvrir les dégâts. Dans ce cas est apparue la nécessité d'assurer les clients et de garantir a priori que le fabricant maîtrise la fabrication du produit : l'assurance de la qualité fait ses premiers pas.

Les évolutions dans les entreprises se succéderont. Elles naissent d'abord au Japon, car c'est un pays très touché par la guerre et qui ne dispose pas de richesses naturelles. Par conséquent, les entreprises japonaises ont dû mettre au point des techniques efficaces pour limiter le gaspillage. Elles adoptent les concepts développés par des ingénieurs comme Deming, Juran et Feigembaun et la qualité devient la préoccupation principale des japonais. C'est l'adoption de cette stratégie qui permet à ces entreprises de se positionner favorablement sur les marchés internationaux.

En Europe, après la guerre, les concepts liés au contrôle de la qualité et à l'assurance de la qualité prennent un peu de retard par rapport au Japon. Cette situation est due principalement à l'abondance des ressources naturelles, ainsi qu'à un marché caractérisé par une concurrence très faible. Ce n'est qu'après le premier choc pétrolier dans les années 1970 et le développement de la concurrence que les entreprises prennent conscience de l'importance des techniques qualité pour le développement et la pérennité de leurs activités. Il s'en suit que des normes ont été définies pour faciliter la collaboration entre les entreprises et pour les aider à mettre en place des structures d'organisations adaptées aux nouvelles exigences du marché.

Le contrôle de la qualité dans l'industrie fait appel à des techniques scientifiques pour mesurer l'adéquation d'un produit ou d'un service aux exigences des clients et pour permettre à une organisation de fournir de façon économique le produit ou le service approprié. Les

techniques utilisées varient d'un produit et d'un service à l'autre, mais les principes de base restent les mêmes : connaître les exigences des clients, vérifier que ces exigences sont atteintes et apporter les améliorations ou les corrections qui s'imposent.

Le sujet de la thèse porte sur les systèmes de contrôle de la qualité de production. Son objectif est de proposer une méthodologie pour la mise en place d'un système de management de la qualité, qui permet d'utiliser au mieux les ressources matérielles, humaines et financières disponibles pour maximiser les performances du système de production.

La base de tout système de management de la qualité est la satisfaction des besoins du client. Ainsi, notre méthodologie commence par déterminer les objectifs attendus. Ensuite, nous utilisons une approche formelle basée sur l'analyse de l'entreprise et la compréhension des différentes tâches à effectuer, ainsi que les contraintes liées aux ressources disponibles (budget, ressources humaines et équipement), à la productivité et à la politique qualité de l'entreprise. Cette analyse est basée sur les outils de la famille IDEF, notamment le modèle SADT qui permettent d'obtenir une représentation fonctionnelle claire et intuitive du système étudié. Ce modèle ne permet pas une analyse du comportement dynamique. Pour palier à ce problème nous construisons un modèle dynamique basé sur l'outil réseaux de Petri. Ce modèle permet l'analyse des propriétés tels que la vivacité. De même, on s'appuie sur ce modèle pour développer une méthode d'allocation des ressources dans un système de production avec prise en compte des ressources non renouvelables comme par exemple les ressources financières.

Le mémoire est organisé en cinq chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons le contexte et la motivation de nos travaux de recherche. Ainsi, nous rappelons les notions importantes de la qualité liées à notre travail. Nous détaillons les principes de système de management de la qualité parce que dans notre synthèse, le système de management de la qualité est un élément indispensable pour créer cette dynamique de progrès dans l'entreprise et pour contrôler et piloter l'entreprise par la qualité. Ensuite nous proposons un état de l'art des approches existantes dans la littérature qui traitent des problématiques proches de celles abordées dans ce mémoire.

Dans le deuxième chapitre, nous proposons une approche de mise en place et modélisation d'un système de management de la qualité. Dans le premier temps, nous expliquons étape par étape l'approche que nous proposons pour la mise en place d'un système de management de la qualité. Pour illustrer cette approche nous étudions son application dans le service de maintenance d'une centrale thermique.

Cependant, pour atteindre notre objectif nous avons besoin d'une représentation formelle d'un système de management de la qualité susceptible de nous permettre l'analyse de ses propriétés. Nous nous intéressons tout d'abord à vérifier la cohérence fonctionnelle du modèle. Par conséquent nous étudions les avantages et les inconvénients des outils de la famille IDEF, notamment, IDEF0 et IDEF3.

Nous complétons l'approche formelle dans le troisième chapitre par l'introduction d'une méthode pour analyser le comportement dynamique du système. Cette méthode est basée sur la construction d'un modèle de réseau de Petri à partir du modèle SADT du système étudié. Ensuite, les propriétés dynamiques sont évaluées à partir du modèle de réseau de Petri. Dans ce chapitre, nous commençons par une brève introduction de l'outil réseaux de Petri (RdP). Ensuite, nous développons l'algorithme de passage de l'IDEF0/SADT aux RdP. Nous proposons également une deuxième méthode pour la modélisation du comportement dynamique basée sur l'outil SADT temporel. Nous clôturons le chapitre par une comparaison des deux méthodes et la justification de notre choix.

Le chapitre quatre traite le problème d'optimisation des ressources dans un système de contrôle de la qualité de la production. L'objectif est de déterminer une affectation des ressources qui permet de maximiser les performances de l'entreprise pour un budget donnée. Dans un premier temps nous rappelons les méthodes existantes dans la littérature et nous analysons leur adéquation à notre problème. Ensuite nous présentons notre algorithme et nous le validons sur un exemple numérique.

Dans le dernier chapitre nous appliquons notre approche pour évaluer différentes politiques de contrôle de la qualité pour un système de production composé de ressources réutilisables et des ressources consommables. Les ressources réutilisables sont représentées par les machines, les opérateurs et les régleurs, tandis que les ressources consommables sont représentées par le budget de développement. Les machines peuvent être réutilisées pour effectuer plusieurs tâches, alors que l'argent une fois dépensé, ne peut plus être réutilisé.

Nous concluons avec une présentation synthétique de notre contribution et nous citons les directions de recherche future ouvertes par les travaux présentés dans ce mémoire.



# **CHAPITRE I**

*Système de production & Contrôle de la qualité*



## ***Chapitre I***

### ***Système de production & Contrôle de la qualité***

Les buts de ce chapitre sont multiples. Dans un premier temps, nous rappelons quelques principes de la qualité, les outils de la qualité et du système de management de la qualité.

Ensuite, nous présentons la problématique de notre thèse. Puis, nous expliquons la notion de système de production et l'approche processus parce que notre méthodologie est basée sur ces deux notions.

Enfin, nous abordons le problème d'optimisation et quelques méthodes d'optimisation.

#### ***1.1 Qualité***

Actuellement, la qualité est devenue un outil de management et un critère de choix essentiel des entreprises pour les échanges commerciaux. Le souci de chaque entreprise est d'avoir en permanence l'amélioration de sa productivité et sa compétitivité. Dans notre synthèse, le système de management de la qualité est un élément indispensable pour créer cette dynamique de progrès dans l'entreprise et pour contrôler l'entreprise par la qualité, parce qu'il existe un lien fort entre la qualité et la productivité et le suivi de production car l'utilisation de la qualité comme un outil de management nous aide à accroître la productivité de l'entreprise, en même temps, l'utilisation des outils de la qualité nous aide à suivre et à améliorer la production.

Avant d'aller plus loin, nous allons rappeler la définition de la qualité et les huit dimensions de la qualité.

Tout d'abord, nous allons commencer avec la définition de la qualité, en fait, il existe de nombreuses définitions liées au type de produit proposé (matériel ou immatériel), aux utilisateurs auxquels il est destiné, à la satisfaction des besoins de ceux-ci et au coût de la qualité.

En conséquence, la définition de la qualité dépend du point de vue où l'on se place [Heitz, 03] :

- Pour un client ou un utilisateur : la qualité c'est l'aptitude d'un produit ou d'un service à satisfaire les besoins de ses utilisateurs (NF-X-50-109).
- Pour la production : la qualité d'un produit réside dans son aptitude à produire au moindre coût des produits satisfaisant les besoins de leur utilisateurs. En sachant qu'un



produit est le résultat d'une activité : produits manufacturés, produits issus de processus continus, logiciels, services.

- Pour l'entreprise ou une organisation : la qualité consiste en la mise en œuvre d'une politique qui tend à la mobilisation permanente de tout son personnel pour améliorer :
  - ✓ La qualité de ses produits et services ;
  - ✓ L'efficacité de son fonctionnement ;
  - ✓ La pertinence de la cohérence de ses objectifs, en relation avec l'évolution de son environnement.
- Pour la société : la qualité d'une entreprise (liée à celle de sa politique ou de son projet), tient essentiellement à sa capacité d'innover, de créer de la valeur ajoutée (sur le plan matériel, comme sur celui des connaissances, des valeurs...) et à la partager au mieux entre les parties prenantes (clients, fournisseurs, employés et actionnaires, et la société en tant que communauté sociale) en respectant ou protégeant l'environnement physique (J.Chové). Mais selon Taguchi, la qualité est la perte qu'un produit, une fois expédié, cause à la société, en dehors des pertes dues à ses fonctions intrinsèques.

Maintenant, nous rappelons les huit dimensions de la qualité [Tarondeau, 96] :

- La *performance*, qui est un attribut mesurable et observable par lequel se définit la qualité d'un produit ou d'un service ;
- Les *caractéristiques secondaires*, contribuent à la satisfaction du client ;
- La *fiabilité* se mesure par la probabilité de mauvais fonctionnement ou de défaillance, elle est essentielle pour les équipements dont la sécurité de fonctionnement est un attribut important ;
- La *conformité* d'un produit ou d'un service traduit son respect des spécifications, normes ou standards qui le définissent. Elle garantit la régularité et l'homogénéité de la qualité produite ;
- La *longévité* est la durée d'usage d'un produit avant sa dégradation par usure ou rupture ;
- Les services associés à un produit ajoutent de la qualité à l'offre de produits,
- L'*esthétique* nous aide à définir la qualité de nombreux produits ou services comme la forme, la couleur, le goût, l'odeur, etc.
- La *perception de la qualité*, c'est la manière dont se forme la perception de la qualité qu'il faut comprendre pour agir judicieusement sur la qualité.

On n'oublie pas de distinguer entre les, deux parties de la qualité [Louchner, 92] :

- La qualité de la conception : concerne les activités visant à assurer que les produits et services nouveaux ou modifiés sont conçus pour répondre aux besoins et aux attentes des

clients et qu'ils sont économiquement réalisables. Ce type de qualité est principalement la responsabilité des départements R&D, Ingénierie des Processus, Etudes de Marché et des services connexes, Bureau des études.

▪ La qualité de conformité : signifie fabriquer des produits ou fournir des services répondant à des spécifications préalablement établies et clairement définies. Les départements Production, programmation, Achats et Expédition sont essentiellement concernés par cette qualité. Il appartient aux dirigeants de veiller à ce que les hommes aient la formation, les outils et les ressources nécessaires pour accomplir leur travail, et qu'ils aient la possibilité de participer aux processus de contrôle et d'amélioration de la qualité.

Selon le développement du concept de la qualité, nous pouvons déterminer trois grandes modes de la gestion de la qualité [Messeghem, 99] [Medeiros, 98] :

- ✓ L'inspection qualité qui a marqué le début du siècle ;
- ✓ Le contrôle qualité qui s'est imposé à partir des années 30 ;
- ✓ L'assurance de la qualité qui est apparue au cours des années 50 ;
- ✓ La qualité totale qui est né dans les années 70.

## ***1.2 Système de management de la qualité***

D'une part, un système de qualité contient une organisation, des responsabilités, des procédures et processus et les moyens nécessaires pour maîtriser la qualité. D'autre part, le système de management de la qualité implique une planification de la qualité, la maîtrise de la qualité, le bon fonctionnement du système assurance de la qualité et un programme d'amélioration de la qualité [Clavier, 97].

Comme dans la définition de la qualité, nous pouvons voir plusieurs considérations du système de management de la qualité.

Selon Ségot et Gasquet, le système de management de la qualité est l'élément du management de l'organisme qui se concentre sur l'obtention des résultats, en s'appuyant sur les objectifs qualité, pour satisfaire selon le cas les besoins, attentes ou exigences des parties intéressées [Ségot, 01].

Le système de management de la qualité doit garantir l'atteinte systématique des objectifs qualité définis, de plus, il doit accroître la satisfaction relative aux prestations produites et aux modes de fonctionnement de l'organisme [IRDQ, 03].

Cependant, il faut distinguer entre SMQ et le management de la qualité, selon ISO 9000/2000 le management de la qualité est l'ensemble des activités coordonnées permettant d'orienter et de contrôler un organisme en matière de qualité [Afnor, 02], alors que le système

de management de la qualité englobe l'assurance de la qualité, l'amélioration de la qualité, le contrôle statistique de la qualité et le contrôle unitaire [Joucla, 00].

De plus, Massacre et Dagusié nous donnent une classification intéressante du système de management de la qualité [Massacre, 03] :

- Le type directif qui résulte généralement d'un mode de management où la qualité a été imposée ;
- Le type participatif qui tient plus la qualité démocratique, constructive mais fragile devant d'éventuels coups de poings ;
- Le type technique basé sur une maîtrise solide d'outils statistiques (comme MSP).

Un système de production est toujours accompagné d'un système de management de la qualité qui a pour mission la planification, la maîtrise, l'assurance et l'amélioration de la qualité. Le Tableau I.1 résume le but de système de management de la qualité.

	« Partie du management de la qualité... »
Planification de la qualité	...axée sur la définition des objectifs qualité et la spécification des processus opérationnels et des ressources afférentes, nécessaires pour atteindre les objectifs qualité. »
Maîtrise de la qualité	...axée sur la satisfaction des exigences pour la qualité. »
Assurance de la qualité	...visant à donner confiance en ce que les exigences pour la qualité seront satisfaites. »
Amélioration de la qualité	...axée sur l'accroissement de la capacité à satisfaire aux exigences pour la qualité. »

Tableau I.1. But de système de management de la qualité [Heitz, 03]

Schématiquement, le système de management de la qualité peut se présenter comme dans la Figure I.1.

Les travaux présentés dans [Larsen, 01] proposent une analyse des raisons possibles du succès de la norme ISO 9000/2000. Ils confirment qu'avec cette version de la norme, nous passons d'un système de qualité à un système de management de la qualité.

Cependant, le système de management de la qualité réalise son but s'il [Krestel, 00] :

- Rend les actions plus transparentes et compréhensibles ;
- Soutient le personnel par des règlements clairs et non ambigus ;
- Augmente la satisfaction de client en évitant les erreurs.

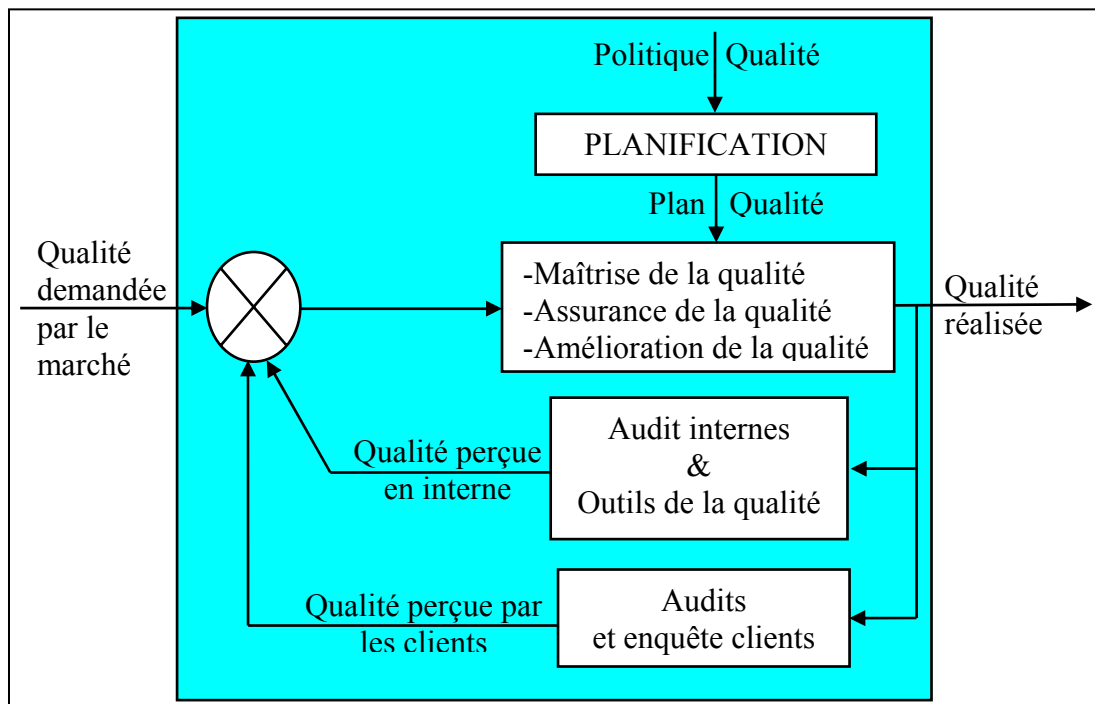


Figure I.1. Système de management de la qualité [Pillet, 01a]

### 1.3 Approche Processus

Dans la littérature, nous remarquons que plusieurs définitions sont présentées pour la notion du processus. Selon le point de vue de la qualité :

- La norme ISO 8042 définit un processus comme un ensemble de moyens et d'activités liés, qui transforment des éléments entrants en éléments sortants (ces moyens pouvant inclure le personnel, les installations, les équipements, les techniques et les méthodes.) [Afnor, 92].
- Selon ISO 9000, chaque organisation existe pour améliorer un travail. Le travail est accompli à travers un réseau de processus. Chaque processus a des entrées et des sorties qui sont les résultats du processus. La structure du réseau n'est pas toujours une structure séquentielle simple, mais complexe [Mathieu, 00].
- La version 2000 de ISO 9000 définit un processus comme un ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie [Mathieu, 00].

En plus, il faut bien comprendre les trois éléments liés à la notion du processus (selon ISO 9000) [Mitonneau, 04] :

Produit : Résultat d'un processus.

Client : Organisme ou personne qui reçoit un produit.

Procédure : Manière spécifiée d'accomplir une activités ou un processus.

Nous proposons les deux schémas la Figure I.2 et la Figure I.3, pour mieux comprendre les principaux éléments d'un processus et les liens entre processus, procédure, produit et client.

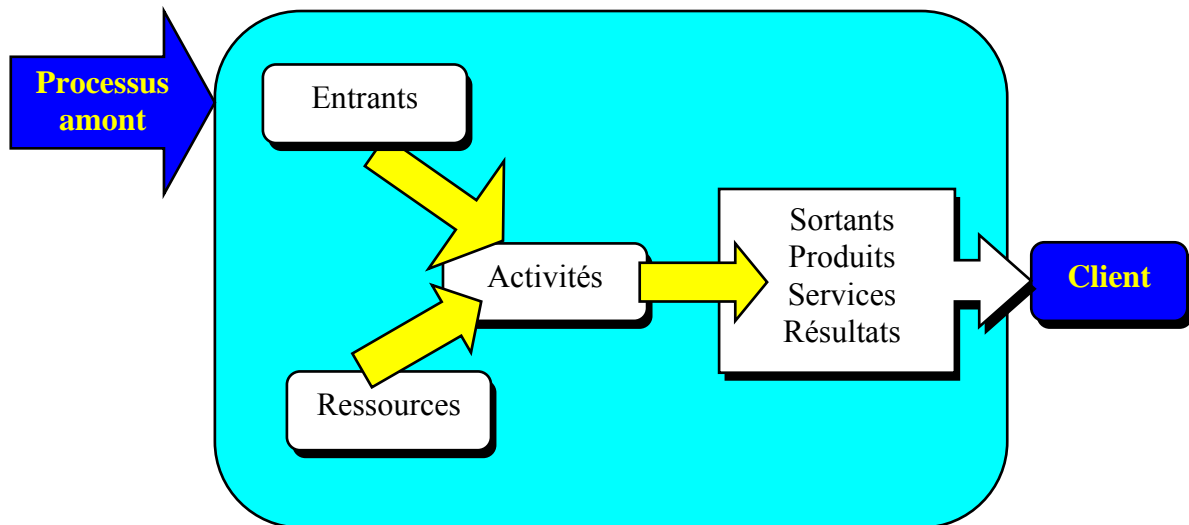


Figure I.2. Principaux éléments d'un processus [Mitonneau, 04]

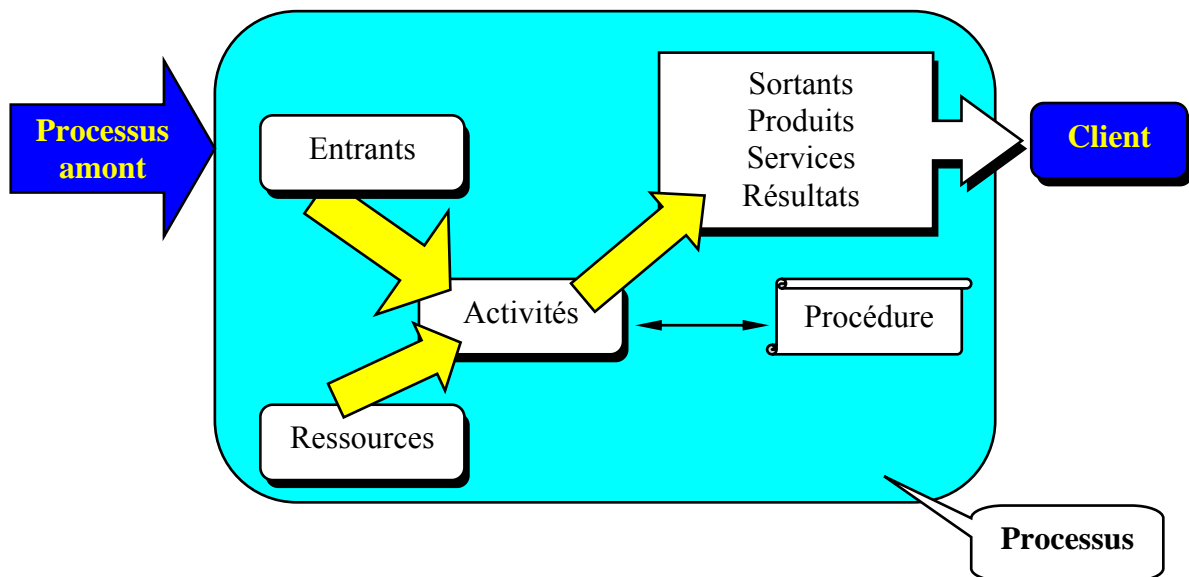


Figure I.3. Liens entre processus, procédure, produit et client [Mitonneau, 04]

Il y a deux grandes catégories de processus [Cattan, 03] :

- Ceux qui constituent des fondements même de l'entreprise et que l'on pourrait qualifier de processus principaux, par exemple :
  - ✓ Pour une entreprise de fabrication : les processus de conception, de réalisation, d'exploitation, de maintenance, etc.
  - ✓ Pour une entreprise de service : les processus de validation du service, d'après-vente, etc.

▪ Ceux qui, étant une déclinaison des précédents, correspondent de façon plus concrète au vécu et aux préoccupations de chacun. On peut les qualifier de « simple » eu égard au faible nombre de fonctions et de tâches impliquées, par exemple :

- ✓ Pour une entreprise de fabrication : le processus d'usinage peut se décomposer en processus de préparation de la machine (programmation, montage des outils, ..), les contrôles dimensionnels.
- ✓ Pour une entreprise de service : le processus de service après-vente pourrait se décomposer en processus de planification de l'intervention, de mise à disposition du personnel compétent.

L'approche processus présente en effet l'avantage de favoriser la communication entre les différents acteurs de l'entreprise [Megartsi, 01]. De plus, nous indiquons que l'approche processus applique dans plusieurs spécialités telles que l'évaluation des performances [Guio, 97] [Ducq, 01], la modélisation d'entreprise [Vernadat, 99] [Williams, 98], la conduite des systèmes de production [Grabot, 96], l'amélioration de la qualité [Cattan, 03].

### I.3.1 Vision hiérarchique et vision processus

Nous avons toujours besoin d'une approche par processus parce que la vision hiérarchique (verticale) ne permet pas à l'entreprise d'être dirigée et pilotée efficacement. La Figure I.4 montre que la vision verticale au sein d'entreprise est indispensable car elle permet de savoir « qui fait quoi ». Par contre, pour mieux gérer l'entreprise il faut avoir une vision horizontale, c'est-à-dire une approche par processus comme dans la Figure I.5.

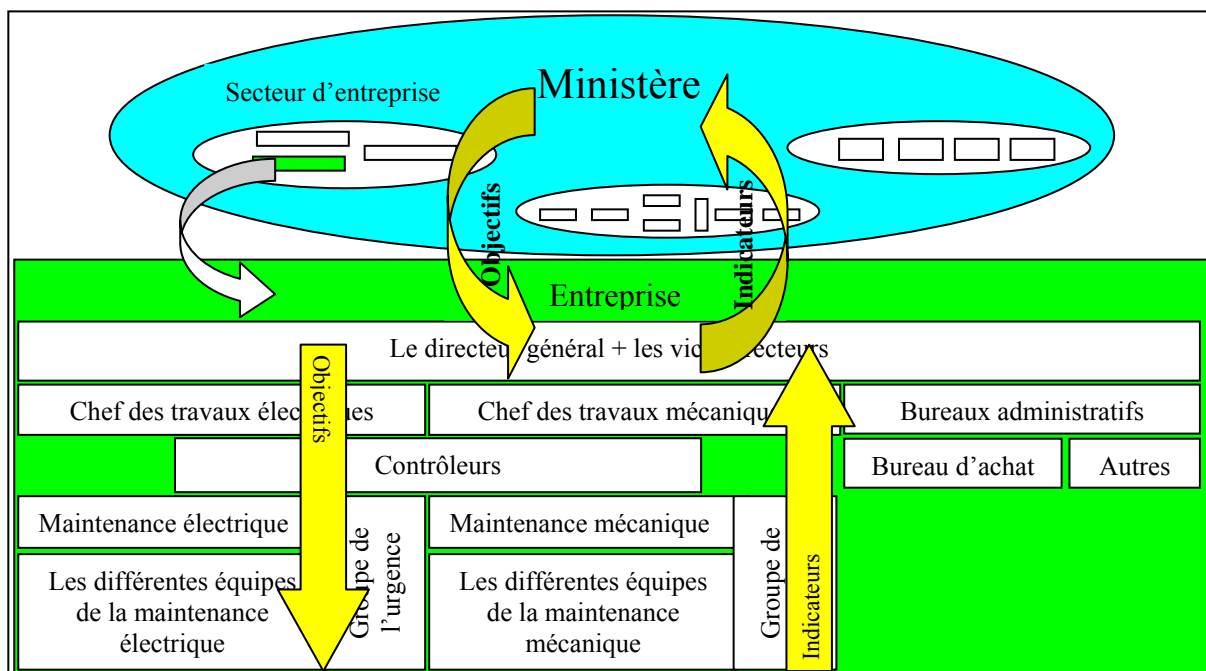


Figure I.4. Entreprise et vision verticale (vision hiérarchique)

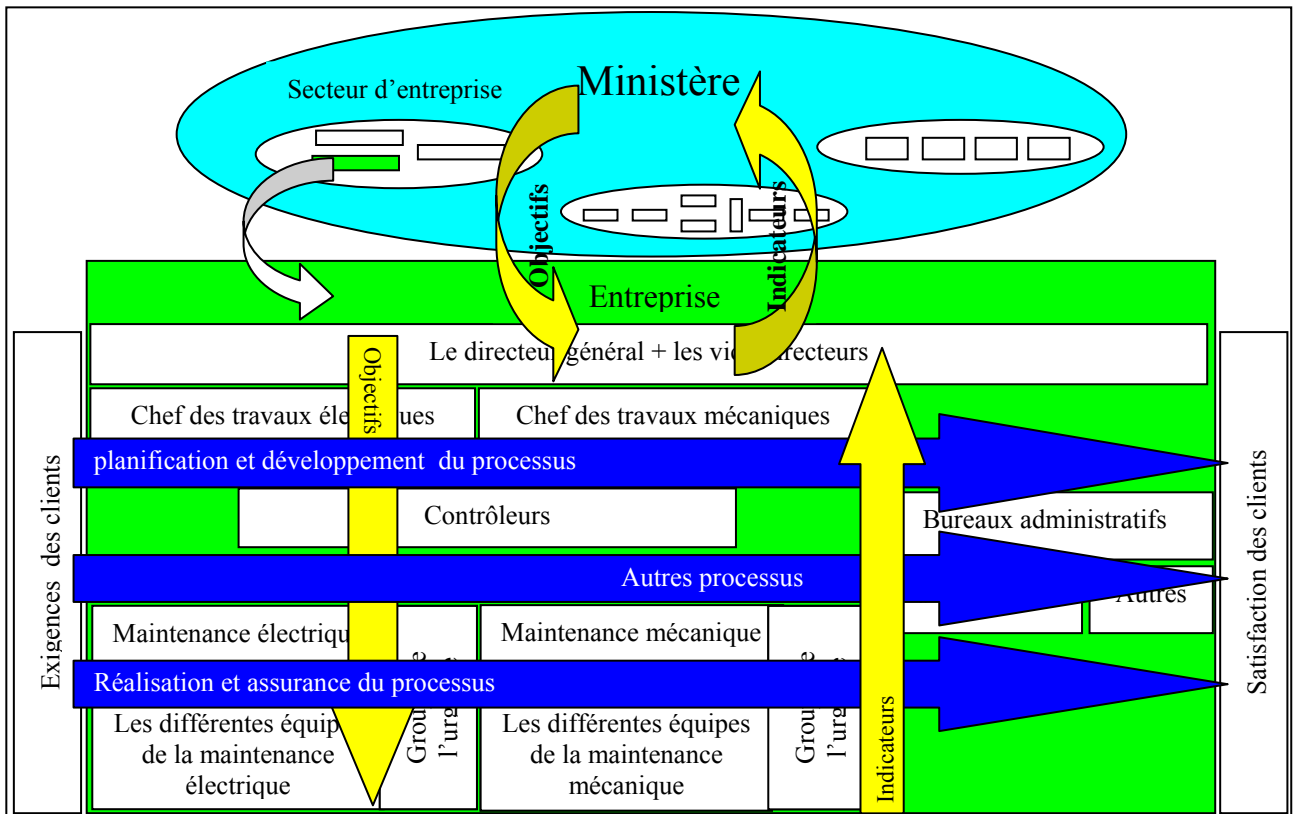


Figure I.5. Entreprise et la vision horizontale (vision processus)

De plus, toute satisfaction des clients est réalisée au travers des processus opérationnels (Figure I.5). Il faut insister sur le fait que nous avons besoin les deux visions verticales et horizontales pour aider le manager à définir une stratégie d'entreprise [Frecher, 03] [Anis, 04].

### I.4 Système de production

Il est difficile de donner une définition précise des domaines que recouvre la production tant cette fonction varie d'une entreprise à l'autre [Clementz, 00]. Le modèle conceptuel du système de production présente deux sous-systèmes distincts: un système physique de production et un système de conduite de production [Doumeingts, 83]. Le système physique est alors composé de deux unités d'organisation : l'unité d'approvisionnement et l'unité de fabrication. Le système de conduite est constitué d'un système de décision et d'un système de pilotage. Ce modèle a présenté dans la Figure I.6.

La compétition mondiale s'intensifie depuis le début des années 1990. Elle nécessite désormais des systèmes de production capables non seulement de réagir en temps réel à la demande mais aussi, si possible, de devancer les désirs des clients. Le but est la satisfaction des clients. Dans ce domaine, [Proth, 06] définit chaque système de production se focalisant sur la compétitivité, c'est-à-dire sur la satisfaction du client et l'adaptabilité aux évolutions de

la demande, comme des systèmes de production modernes. De plus, dans le même ouvrage de Proth, on différencie le système de fabrication et le système de production. Ici, le système de fabrication est l'ensemble des ressources requises pour fabriquer un produit ou un ensemble donné de produits, mais le système de production est l'ensemble des moyens déployés pour satisfaire un client, depuis l'enregistrement d'une commande jusqu'à sa livraison et l'encaissement de la facture correspondante.

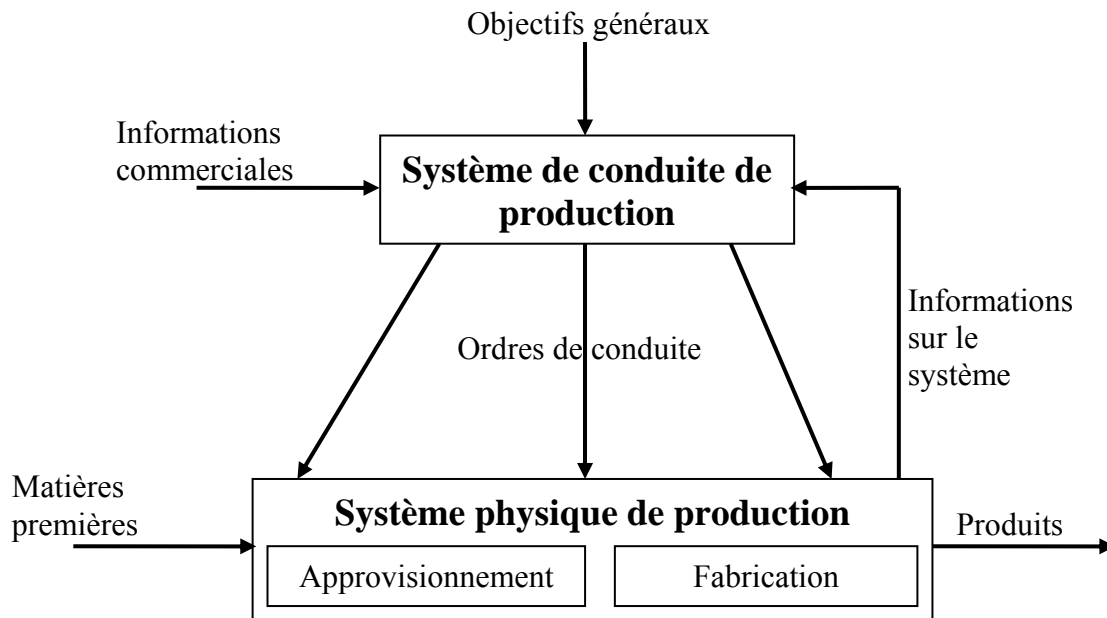


Figure I.6. Modèle conceptuel de production [Clementz, 00]

La ressource est une entité qui permet de modifier l'état d'un produit, d'effectuer des mesures sur ce produit, de le manipuler ou de le tester. Par conséquent, les employés, les machines, les centres d'usinage, les outils, les chariots, les stockeurs, les appareils de mesures, etc. sont des ressources.

Alors, nous pouvons marquer l'évolution de la notion de système de production. Dans les années 80 le système de production est constitué deux parties : une partie pour le contrôle et le pilotage, et une deuxième pour la transformation (fabrication). Au contraire, actuellement, le système de production inclut l'étude de marché, l'achat de la matière première et des composants, la formation, la fabrication, le conditionnement des produits finis, leur livraison, le service après vente. Pour cela, les chercheurs l'appellent système de production modern.

De plus, [Senechal, 04] a considéré que le système de production comme étant une catégorie particulière de système :

- Constitué par un ensemble de ressources humaines, techniques et financières ;
- Placé dans un environnement naturel, économique, social et politique ;



- Fonctionnant pour sa propre pérennité, pour le bien de ses membres, de ses utilisateurs et de la société en général ;
- Réalisant des produits matériels (biens) ou immatériels (services) ;
- Mettant en oeuvre différents processus (de conception, de production, de gestion, de commercialisation,...) ;
- et dont la composition (équipements, effectifs, ...), l'organisation, et les activités (innovations, externalisations,...) évoluent.

Cet auteur a proposé la méthode SADT et la méthode GRAI pour la formalisation des processus et des activités.

### ***1.5 Problématique***

Face à l'actuel contexte économique et social, la majorité des entreprises industrielles se trouve confrontée aux problèmes de l'augmentation de la productivité, de l'adaptation aux variations de la demande, du respect des délais et du contrôle et de l'amélioration de la qualité.

Notre objectif est de mettre une méthodologie de la modélisation et pilotage du système de production pour répondre à tous les défis du système de production moderne.

Nous pouvons réaliser notre méthodologie grâce à une approche formelle pour le déploiement et le pilotage de système de production à l'aide du système de management de la qualité et aux outils de modélisation (IDEF0, IDEF3, RdP,...etc.). S'il n'existe pas un SMQ, on propose une démarche contenant dix étapes pour la mise en place d'un tel système management de la qualité : 1) précision de la politique qualité et des objectifs qualité dans l'entreprise ; 2) détermination des processus critiques par rapport aux objectifs qualité ; 3) détermination de l'efficacité de chaque processus choisi et recherche des possibilités d'amélioration ; 4) détermination des moyens permettant de réduire le nombre de pannes et des non conformités ; 5) détermination des risques et choix des améliorations qui peuvent donner les meilleurs résultats avec un minimum de risques ; 6) planification des procédures, des processus et des moyens permettant la mise en place des améliorations identifiées ; 7) mise en œuvre du plan d'actions ; 8) surveillance des effets des améliorations ; 9) évaluation les résultats obtenus par rapports aux résultats prévus ; 10) s'il y a une révision des objectifs qualité, aller à l'étape 1, sinon aller à l'étape 3.

Cette approche formelle est basée sur l'analyse de l'entreprise et la compréhension les différentes tâches à effectuer, ainsi que des contraintes liées aux ressources disponibles (budget, ressources humaines et équipement), à la productivité et à la politique qualité de

l'entreprise. Par conséquent, il faut identifier les relations et les interfaces entre les différentes activités et les contraintes associées, nous représentons ces interactions dans le cadre d'un modèle formel basé sur la famille d'IDEF. On peut dire que cette approche formelle nous aide à contrôler les processus d'entreprise afin de diriger et piloter efficacement notre système.

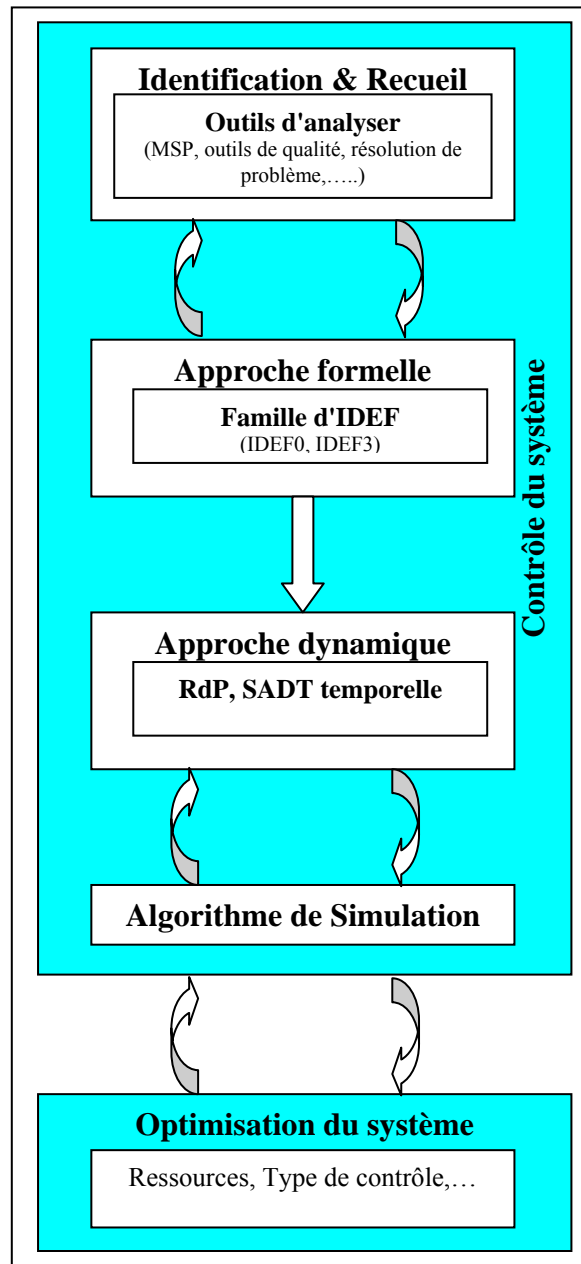


Figure I.7. Notre méthodologie

Ensuite, nous étudions les aspects dynamiques de notre système grâce au réseaux de Petri (RdP) après avoir réaliser un passage entre la famille d'IDEF vers le RdP, c'est-à-dire un passage des aspects fonctionnelle vers les aspects dynamiques. Après la réalisation de ces étapes, on peut dire qu'on a contrôlé notre système, puis, on commence à faire l'optimisation de notre système. Cette optimisation concerne les optimisations de ressources et les différents types de ressources.

## ***1.6 Modélisation du système de production***

Les méthodes de modélisation du système de production sont nombreuses, mais il est possible de dresser une typologie des familles de méthodes comme la suivante : Approche orientées données, Approche orientées opérations, Approche orientées comportement et Approches combinées.

- **Approches orientées données** : ces modèles explicitent les niveaux d'abstraction dans la représentation ; ce sont des méthodes conceptuelles. Apparues vers le milieu des années 60, elles définissent une structure générale de données, indépendante des programmes qui les manipulent. Cette approche figure également dans les principes fondateurs des bases de données. Les limites de cette approche sont dues au fait qu'elle n'intègre pas les aspects dynamiques, le modèle étant par définition statique ; les conditions de déclenchement, l'ordonnement dans le temps des contraintes opératoires sont difficilement représentables.
- **Approche orientées opération** : ces approches raisonnent en termes d'application, elles partent des besoins ou résultats à obtenir (écrans, états, ...) pour en déduire les données d'entrée nécessaires à cette application. Les limites de cette approche sont liées au fait qu'elle conduit à une redondance de données identiques pour différents traitements, donc un risque d'incohérence de ces mêmes données connues de façon différentes en plusieurs endroits du système. On note encore que le modèle obtenu est peu évolutif car il est spécifié pour les besoins du moment. En conclusion, ces approches sont dans l'incapacité de définir un schéma de base de données [Coad, 93].
- **Approches orientées comportement** : Elles présentent l'avantage de représenter les contraintes de dynamique et d'évolution dans le temps. Ces approches privilégient cependant ensuite soit l'aspect donné, soit l'aspect traitements et se heurtent aux mêmes difficultés que les approches orientées données.
- **Approches combinées** : (MERISE - SADT) ces méthodes prennent bien en compte les aspects traitement et données, mais de façon séparée. MERISE utilise l'approche entité association pour modéliser les données et conçoit le modèle de traitement (M.C.T. pour Modèle Conceptuel des Traitement) à l'aide d'un formalisme largement inspiré des réseaux de Pétri. La méthode conseille de réaliser les deux études par deux équipes séparées. En particulier, un M.C.D. (Modèle Conceptuel des Données) est validé par les vues externes issues du M.C.T. : le risque d'obtenir en final un M.C.D. basé sur les besoins immédiats des utilisateurs n'est pas négligeable. SADT, quant à elle, semble accorder une place secondaire aux données (modélisée à travers le datagramme). Elle est surtout utilisée pour vérifier la validité des modèles de traitement (actigrammes), nous allons détailler SADT dans le

deuxième chapitre dans notre thèse parce que cet outil est le point d'entrée de l'approche que nous développons dans cette thèse.

- Approche orientée objet : l'idée majeure du concept d'objet consiste à conserver la même approche depuis l'analyse des besoins jusqu'à la réalisation du système [Meyer, 88] [Bailin, 89] [Ward, 89]. Un objet peut être considéré comme étant une entité à laquelle sont associés des attributs ainsi qu'un certain nombre d'actions, appelées aussi méthodes. Les méthodes utilisent la valeur de ces attributs pour procéder à l'exécution d'un comportement. Ce concept particulièrement simple permet de former des classes d'objets, à partir desquelles des instances peuvent être générées. Les concepts associés aux objets, comme ceux de l'héritage (une classe hérite des caractéristiques de sa super-classe) ou l'encapsulation (le fonctionnement interne d'un objet est caché aux autres objets) favorisent la réalisation et la maintenance des systèmes informatiques.

### ***1.7 Optimisation du système de production***

Un système de production est composé d'un ensemble de ressources qui permet de réaliser l'objectif de production, c'est-à-dire la transformation de matières premières et/ou de composants en produits finis. En sachant qu'il y a cinq types de ressources : les équipements, les hommes, les matières, les ressources financières et les informations. L'optimisation est une méthode (ensemble de méthodes) qui permet d'obtenir le meilleur résultat approché d'un problème de recherche, autrement dit, l'optimisation revient à estimer des *minimum* ou des *maximum* d'une fonction ou d'un système de fonctions. Il ne faut pas oublier les contraintes, par exemple Sugden, dans sa thèse [Sugden, 92], a proposé que l'optimisation soit un processus pour obtenir le meilleur résultat possible avec des contraintes. De plus, le résultat est mesuré en terme d'objectif (minimisation, maximisation), et les contraintes sont définies par un ensemble d'équations linéaires ou non linéaires.

Au regard du contexte économique, les industriels cherchent à configurer au mieux leur système de production selon divers critères de performance tels que le temps de fabrication, le nombre d'en-cours ou le nombre de demandes mises en attente. L'optimisation de ces systèmes consiste souvent à déterminer la meilleure combinaison des paramètres qui les caractérisent, tels les capacités de stockage, les tailles de lots de transport par exemple. Malheureusement, il y a souvent de fortes interactions entre ces paramètres. Il paraît donc difficile d'utiliser des approches analytiques sans formuler d'hypothèses trop restrictives pour évaluer et optimiser de tels systèmes. La solution la plus adaptée pour permettre leur évaluation est souvent la simulation car elle permet de prendre en compte au mieux les divers

paramètres des systèmes de production. Toutefois, la simulation n'est qu'un outil d'évaluation des performances d'un système en fonction de ses paramètres. Il faut donc utiliser la simulation conjointement à d'autres méthodes afin de rechercher les solutions optimales. Ce couplage optimisation-simulation est connu sous le terme d'optimisation via simulation où le module d'optimisation propose successivement des solutions que l'on espère de plus en plus performantes au module de simulation [Paris, 04]. On peut dire que c'est le mobile de notre thèse, parce que nous avons vu qu'une méthodologie proposée pour modéliser et piloter le système de production ne suffit pas pour son optimisation ; pour cela nous nous orientons vers la simulation pour l'optimisation de notre système ; de plus, les aspects stochastiques contenus dans notre modèle nous conduisent à la simulation numérique.

De plus, [Castagna, 04] a confirmé qu'un modèle de simulation est toujours construit pour résoudre un problème, mais sa seule utilisation ne permet pas de trouver une solution. Il doit être utilisé dans un processus d'optimisation, c'est-à-dire une méthode ou méthodologie pour l'optimisation. Sa méthode est illustrée par la Figure I.8.

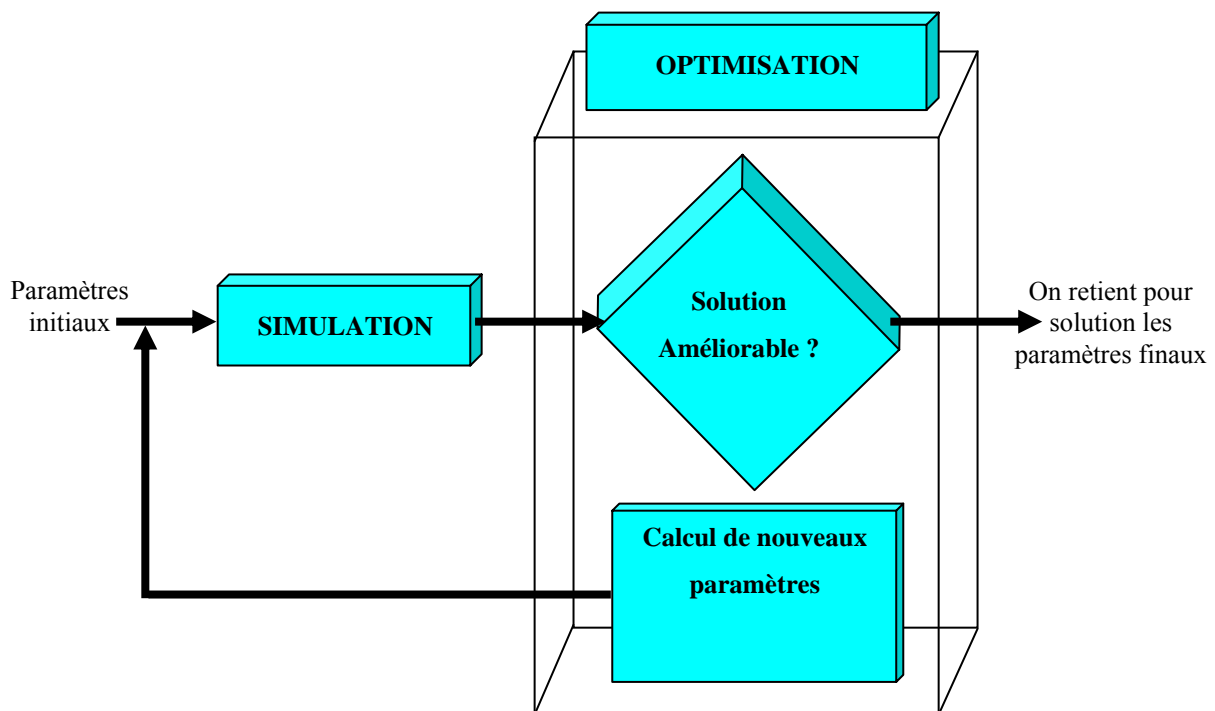


Figure I.8. Optimisation et simulation [Castagna, 04]

Dans la pratique, si le système est suffisamment complexe, il est fort probable que le seul outil universel disponible pour estimer ses performances est la simulation par ordinateur. De plus, Le processus de recherche du meilleur jeu de paramètres de simulation d'un système complexe, dont les performances sont évaluées à partir des résultats d'un modèle de simulation est dénommé optimisation par simulation [Andradottir, 98] [Olafsson, 02].

L'objectif de l'optimisation par simulation est d'optimiser les performances choisies du système tout en minimisant le nombre de jeux de paramètres évalués [Li, 06].

Dans [Cauvin, 05] l'optimisation de la réactivité des systèmes de décision dans les organisations industrielles a été étudié dans trois axes :

- Un axe contextuel orienté vers les organisations industrielles qu'il définirait comme des systèmes qui supportent les activités qu'une entreprise met en oeuvre pour produire des biens ou des services ;
- Un axe scientifique défini autour des systèmes de décision qu'il considérerait comme des systèmes constitués des moyens humains et techniques mobilisés pour adapter l'évolution du système qu'ils pilotent, en fonction de son comportement, de l'état de l'environnement et des objectifs fixés ;
- Un axe problématique tournée vers la réactivité qu'il définirait comme la capacité d'un système à assurer des délais de réponse optimaux par rapport aux horizons de travail de ce système.

L'optimisation du système de production, dans le premier temps, consiste à minimiser les ressources avec la maximisation de la productivité, car pour répondre aux défis du système de production, il faut adopter des stratégies de production avec des budgets limités.

Les systèmes de production peuvent être modélisés par un outil de modélisation, comme les outils de famille IDEF, les réseaux de Petri (RdP) ou les graphes d'évènements (GdE) qui sont un cas spécial des RdP. Dans la modélisation des systèmes de production par RdP ou par GdE, les opérations sur les machines sont souvent modélisées par des transitions, et à chaque transition est associée un temps de franchissement correspondant au temps nécessaire d'exécution de l'opération.

Nous nous intéressons aux études qui s'intéressent au problème d'optimisation du système de production, où il y a différents problèmes d'optimisation étudiés en utilisant les RdP ou les GdE. Les travaux de Commoner, Holt, Even et Pnueli en 1971, Chretinne en 1983 et Magott en 1984 sont parmi les premiers chercheurs qui sont utilisé la fréquence de franchissement de GdE pour analyser les circuits élémentaires.

Nous pouvons classer les méthodes d'optimisation appliquées aux systèmes de production en deux grandes catégories :

- Les méthodes d'optimisation exactes ;
- Les méthodes d'optimisation heuristiques ou méta-heuristiques.

### **I.7.1 Méthodes d'optimisation exactes**

Ces méthodes sont basées soit sur une résolution algorithmique ou analytique, soit sur une énumération exhaustive de toutes les solutions possibles. Elles s'appliquent donc aux problèmes qui peuvent être résolus de façon optimale et rapidement.

Nous trouvons essentiellement deux types de méthodes :

#### **I.7.1.1 Méthodes analytiques**

Ces méthodes sont basées sur l'existence de dérivées, donc sur l'existence d'équations ou de systèmes d'équations, linéaires ou non linéaires. Le principe général consiste à rechercher un extremum hypothétique en déterminant les points de pente nulle dans toutes les directions [Goldberg, 94]. La méthode du Gradient ou du Quasi-Newton consiste à se déplacer dans une direction dépendant du gradient de la fonction objectif. Les inconvénients de ces méthodes sont nombreux : elles s'appliquent localement, les extremums qu'elles atteignent sont optimaux au voisinage du point de départ et l'existence de dérivées n'est pas systématique. Ces méthodes sont donc peu efficaces pour résoudre des problèmes d'optimisation en production.

#### **I.7.1.2 Méthodes algorithmiques**

La programmation linéaire permet de déterminer l'optimum d'une fonction linéaire tout en respectant des contraintes linéaires [Sakarovitch, 84]. L'algorithme du Simplexe a été développé en 1947 par G.B. Dantzig pour résoudre ce type de problème. Par la suite, cet algorithme a été perfectionné pour pouvoir être adapté à sa programmation informatique. On trouve ainsi une forme matricielle de cet algorithme qui permet de décrire le déroulement des opérations en termes algébriques et moyennant la résolution de systèmes d'équations linéaires. De nombreuses recherches ont été menées et sont encore menées dans l'application de la programmation linéaire à des cas de production. On peut citer par exemple l'ouvrage de [Thiel, 90] qui présente des exemples de traitement de problèmes de production en utilisant la Recherche Opérationnelle. Vient ensuite la Théorie des Graphes, et les méthodes arborescentes (ou "Branch and Bounds Methods") qui permettent de traiter des problèmes complexes de façon exacte à partir d'une énumération intelligente de l'espace de solutions. Elles peuvent très bien s'appliquer à des problèmes de taille moyenne, mais pour des problèmes de grande taille, leur durée d'exécution peut devenir prohibitive. Dans son ouvrage, [Prins, 97] présente ces méthodes de façon très claire, pédagogique et concrète, sous la forme d'algorithmes de graphes.

Des recherches plus récentes ont permis de développer la **Programmation Dynamique** et la **Programmation Linéaire en Nombres Entiers**, afin de trouver des solutions exactes à

des problèmes réputés difficiles. Mais la résolution de problèmes par ces méthodes n'est pas toujours facile, notamment à cause de la difficulté à caractériser les problèmes susceptibles d'être traités. Par la suite, nous indiquons quelques travaux dans ce domaine.

[Panayiotou, 99] ont développé une approche pour l'affectation de nombre fini de ressources avec la maximisation de fonction de performance donnée. En fait, ils ont proposé deux algorithmes. Algorithme d'optimisation accroissement (IO Incremental Optimization) appliquant quand à chaque étape la solution optimale est unique, le deuxième est l'algorithme d'optimisation d'accroissement généralisée (GIO Generalized Incremental Optimization) appliquant dans le cas général quand on a plusieurs solutions optimales. Mais, pour appliquer ces algorithmes, il faut vérifier que la fonction de performance doit être *douce*, c'est-à-dire on ne compte que la solution qui est maximum de la précédente solution avec chaque nouvelle affectation de ressources. Cette condition importante et suffisante pour la convergence et pour garantir que une affectation optimale va donner une nouvelle solution optimale dans la prochaine affectation. De plus, cette condition est très importante dans l'application de ces algorithmes, même si elle est une limite très forte, parce que dans les méthodes heuristique, les deux choses importantes sont la condition d'arrêt et la convergence, car la condition d'arrêt nous donne la précision souhaitée et la convergence nous garantit d'avoir une solution optimale. Les auteurs ont appliqué leurs algorithmes sur un système de production s'appelant système de Kanban.

De plus, [Giua, 02] ont traité le problème d'affectation de nombre fini de ressources avec la maximisation de fréquence de franchissement. Ils ont utilisé les GdE déterministes cycliques comme un outil de modélisation, en plus, ils ont considéré que le marquage initial et la fréquence de franchissement sont deux variables de décisions. Les auteurs ont proposé trois procédures pour résoudre ce problème, la première se basant sur l'algorithme GIO. Dans cette partie, ils ont supposé que la fonction de performance (fréquence de franchissement) n'est pas douce ; pour cela, ils ont proposé une règle pour l'affectation de ressources ; ensuite, ils ont montré un nouvel algorithme pour calquer la solution optimale (TIO Two-index Incremental Optimization). Cet algorithme est efficace en terme de temps de calcul et de nombre de solutions optimales, parce que dans cet algorithme, on garde une seule solution optimale. Nous pouvons considérer que cet algorithme TIO est une extension de l'algorithme GIO, de plus, en réalité la règle d'affectation de ressources est comme la condition de « doux » d'algorithme GIO, parce que cette règle va garantir le doux de fonction de performance.

Par ailleurs, ils ont proposé deux méthodes pour résoudre le problème en général sans utilisation de la règle d'affectation de ressources. La première utilise la technique de programmation linéaire avec nombre entier ; dans cette méthode, il faut connaître tous les



circuits élémentaires dans GdE, ce qui peut être considéré comme un inconvénient de cette méthode. La deuxième méthode est une extension de la première, elle dépend du problème de programmation avec nombre entiers et du limite le calcule par modifier les variables de décision en s'appuyant sur le résultat de travaux de [Campos, 92].

### ***1.7.2 Méthodes d'optimisation heuristiques ou méta-heuristiques***

Une méthode heuristique ou méta-heuristique est un algorithme d'optimisation qui a pour but de trouver une solution réalisable de la fonction objectif, mais sans garantie d'optimalité. Le principal avantage de ces méthodes est qu'elles peuvent s'appliquer à n'importe quelle classe de problèmes, faciles ou très difficiles, bien ou mal formulés, avec ou sans contrainte. En particulier, elles ne nécessitent pas une modélisation mathématique du problème. Elles semblent être tout à fait adaptées à l'optimisation de systèmes de production et c'est donc ce type de méthode qui sera utilisé dans la suite de ce travail.

Ces méthodes peuvent être classées en trois familles :

- Les méthodes de recherche locale définies par un voisinage,
- Les méthodes de recherche aléatoire,
- Les méthodes méta-heuristiques.

#### **1.7.2.1 Méthodes de recherche locale définies par un voisinage**

Nous pouvons définir principalement deux méthodes qui diffèrent uniquement par l'énumération du voisinage d'une solution :

##### **1.7.2.1.1 Algorithme du Grimpeur (ou de la descente stochastique)**

On part d'une solution initiale et on lance l'exploration de son voisinage jusqu'à ce que l'on rencontre une solution meilleure, à partir de laquelle on applique le même principe. Dans ce cas, la recherche locale du voisinage d'une solution se termine après un nombre variable d'itérations, quand elle n'arrive plus à trouver une solution meilleure que la solution courante. On n'explore donc pas systématiquement tout le voisinage d'une solution.

*Présentation de cet algorithme (minimisation de  $f$ ) :*

Soit  $V(\min)$  = voisinage de la solution courante, comportant  $k$  solutions,

Soit  $s(i) \in V(\min)$ , une solution parmi les  $k$  solutions de  $V(\min)$ .

*Début*

$$\min = s_{(0)} \in \{S\}$$

*Pour*  $[i = 1 \text{ à } k]$  *et*  $[s_{(i)} \in V(\min)]$

*Si*  $f(s_{(i)}) < f(\min)$

*Alors*  $\min = s_{(i)}, i=0$

*Fin Pour*

$\min = \text{Solution finale}$

*Fin*

### I.7.2.1.2 Algorithme de la plus grande pente

L'algorithme est le même que le précédent, mais toutes les solutions du voisinage correspondant à la transformation élémentaire sont énumérées et on ne retient que la meilleure.

*Présentation de cet algorithme en (minimisation de f) :*

Soit  $V(\min)$  = voisinage de la solution courante, comportant k solutions,

Soit  $s(i) \in V(\min)$ , une solution parmi les k solutions de  $V(\min)$ .

*Début*

$$\min = s_{(0)} \in \{S\}, \min\_v = s_{(0)}$$

*Répéter*

$$\min = \min\_v$$

*Pour*  $[i = 1 \text{ à } k]$  *et*  $[s_{(i)} \in V(\min)]$

*Si*  $f(s_{(i)}) < f(\min\_v)$

*Alors*  $\min\_v = s_{(i)}$

*Fin Pour*

*Jusqu'à ce que*  $\min\_v = \min$

$\min = \text{Solution finale}$

*Fin*

Le principal avantage de chacun de ces deux algorithmes est qu'ils sont faciles à programmer. En contrepartie, ils ont l'inconvénient de ne pas être adaptés à des fonctions objectives multimodales (avec plusieurs pics et creux) car ils s'arrêtent dès qu'un minimum local est trouvé, à moins de les relancer à partir d'une autre solution initiale. Pour des problèmes comportant beaucoup de variables, le temps de calcul peut être très long si l'on opte pour une transformation élémentaire exhaustive ou si l'on utilise l'algorithme de la plus grande pente.

Si la fonction d'objectif est très bruitée, on risque de tomber dans un minimum local qui est bien loin du minimum global, sans qu'il soit possible d'en sortir. Ces algorithmes sont donc utilisés de façon complémentaire à un autre type d'algorithme qui peut sortir d'un minimum local.

### **I.7.2.2 Méthodes d'exploration aléatoire**

Nous trouvons peu de références dans la littérature au sujet de cette méthode. Cela est peut être dû au fait qu'il est impropre d'appeler "Méthode" une recherche qui est purement aléatoire. D'autre part, cette exploration aléatoire peut sembler trop peu efficace aux yeux des chercheurs en optimisation combinatoire. Cependant, la recherche aléatoire d'un optimum a été utilisée avec succès avant que les méthodes de recherche globale ne soient développées [Goldberg, 94].

Le principe de cette recherche aléatoire est donc des plus simples : on génère "au hasard" une solution  $s(i)$  puis on évalue la fonction objectif  $f$  avec cette solution et on recommence ces deux étapes jusqu'à ce qu'un nombre d'itérations (arbitraire ou pas) fixé par l'utilisateur soit atteint.

Malgré le manque d'intérêt de cette recherche par les spécialistes, on peut quand même penser que pour les problèmes de très grande taille et qui ont une fonction objectif multimodale, compte tenu du temps de calcul nécessaire à n'importe laquelle des méthodes globales vues précédemment, cette recherche aléatoire permet :

- soit de dégrossir le problème avant de l'explorer par une méthode globale ou locale de voisinage, et sur ce point, beaucoup de spécialistes sont d'accord ;
- soit de se contenter de cette recherche si la nature et la complexité du problème sont telle qu'une méthode de voisinage ne permet pas l'obtention d'un gain significatif par rapport à une solution obtenue aléatoirement.

### **I.7.2.3 Méthodes méta-heuristiques**

Le développement de ces méthodes est issu du constat d'échec des méthodes locales. Le principe recherché est donc de pouvoir sortir d'un optimum local, mais on s'appuie toujours sur une recherche locale avec une transformation élémentaire, que l'on fait ensuite évoluer si elle s'avère insuffisante. Deux méthodes ont été développées très récemment : le Recuit Simulé (Simulated Annealing) et la recherche Tabou (Taboo Search).

#### **I.7.2.3.1 Méthode TABOU**

Cette méthode est encore plus récente que le Recuit Simulé, puisqu'elle a été proposée par Glover en 1986. Dans [Glover, 97], l'auteur de cette méthode détaille les différents algorithmes à base de listes Tabou. Depuis, de nombreuses contributions ont été apportées à cette méthode, notamment à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne où [Widmer, 91] l'a appliquée à l'optimisation des ateliers flexibles. Son principe repose sur une méthode de déplacement dans l'espace des solutions de façons à améliorer la meilleure solution courante [Hao, 99].

Encore une fois, le point de départ de cette méthode est identique à une recherche locale avec une transformation de voisinage. La différence provient du fait que l'on va sur la meilleure solution voisine, même si elle est plus mauvaise que la solution initiale. L'autre originalité de cette méthode est la construction d'une liste de mouvements tabous  $T$ , qui correspondent aux solutions testées dans un passé proche et sur lesquelles on s'interdit de revenir. A partir de la solution courante  $s(i)$  et pour la remplacer, on choisit dans  $V(s(i)) - T$  la solution  $s(j)$  qui minimise la fonction objectif  $f$ , tout en ajoutant  $s(i)$  à la liste  $T$ .

La difficulté majeure de cette méthode est la gestion de cette liste Tabou. En pratique, cette liste est de taille réduite (comprise entre 3 et 12) et elle fonctionne en FIFO : quand la liste est pleine, on supprime la solution qui s'y trouve depuis le plus longtemps et on la remplace par la nouvelle solution à interdire.

Les recherches et applications dans le domaine de la production sont encore une fois nombreuses. On pourra trouver par exemple dans [Taillard, 89], [Widmer, 89], [Cavory, 00] et dans [Mati, 02] des applications de cette méthode à l'optimisation de l'ordonnancement dans une chaîne de montage et dans un atelier de type Job Shop.

#### **I.7.2.3.2 Recuit Simulé**

Cet algorithme a été développé en 1982. Il repose sur une analogie avec la métallurgie et le recuit des métaux : en dehors d'un traitement thermique spécifique, un métal refroidi

trop vite présente de nombreux défauts qui correspondent à des excédents d'énergie interne et donc des tensions résiduelles dans le matériau. L'objectif du recuit est de minimiser ces excédents de façon à obtenir une configuration d'énergie minimale. Pour le réaliser, on réchauffe le métal ce qui a pour effet d'augmenter encore l'énergie interne, mais un réglage judicieux de la température de refroidissement permet de sortir de l'état initial et d'obtenir finalement une énergie interne plus faible. L'application de ce principe à l'optimisation est le suivant : il est possible, contrairement à un algorithme de recherche locale, d'accepter une dégradation de la fonction objectif avec une certaine probabilité, sachant que cette dégradation pourra entraîner une amélioration ultérieurement.

Dans la littérature des recherches plus récentes ont appliqué et intégré ces méthodes [Pibouleau, 05] [Nearchou, 04] [Chen, 99], parmi ces méthodes :

[Sauer, 03] a proposé une heuristique itérative pour résoudre le problème d'optimisation de marquage des GdE valué, parce que la résolution de problème d'optimisation avec les méthodes directes dépend de plusieurs facteurs, par exemple la capacité du logiciel ; de plus, avec un certains nombres d'inconnus dans la fonction les méthodes directes deviennent inappropriées, c'est pour cela que les chercheurs appellent les méthodes heuristiques. Dans ces méthodes, la solution optimale est généralement obtenue après un certain nombre d'itérations lorsqu'on arrive à une précision souhaitée. L'idée de la méthode proposé est d'enlever à chaque itération un jeton dans une place  $p^*$  en répondant à deux objectifs fondamentaux : réduire au maximum la valeur du critère à optimiser, c'est-à-dire le coût des ressources, et augmenter aussi faiblement que possible le temps de cycle moyen, c'est-à-dire diminuer au minimum la productivité. Pour déterminer le temps de cycle moyen du GdE valué, l'auteur utilise la simulation. Pour pouvoir résoudre le problème d'optimisation du marquage en limitant le nombre de simulations (c'est-à-dire en limitant les temps de calcul) ; les informations obtenues lors de cette simulation permettent également de déterminer la place recherchée. En particulier, pour chaque place  $p \in P$ , la quantité suivante est calculée :

$$L(p, s) = \frac{1}{s} \cdot \int_0^s \text{Max}(0, M_0(p, \theta) - \text{Pr } e(p, p^\bullet)) \cdot d\theta$$

Où  $M_0(p, \theta)$  est le nombre de jetons dans la place  $p$  à l'instant  $\theta$  en considérant les jetons en cours de franchissement de la transition suivante (i.e. les jetons réservés).  $L(p, \infty)$  correspond au nombre moyen de jetons non utilisés lors du prochain franchissement de  $p^\bullet$ . Si cette valeur est grande, cela signifie que des jetons devront attendre longtemps dans la place  $p$  avant le prochain franchissement de la transition  $p^\bullet$ . Ainsi, pour réduire le

critère à optimiser, une place candidate est celle ayant le plus grand coefficient  $u_p$  et la plus grande valeur  $L(p, \infty)$ . Par conséquent, on choisit la place qui maximise  $L(p, \infty) \cdot u_p$ . En sachant que  $u_p$  présente le coefficient du vecteur P-invariant.

L'inconvénient des méthodes basées sur l'amélioration itérative est que la recherche s'arrête dès que le processus ne peut plus améliorer la solution obtenue. La recherche peut aboutir à un minimum local de mauvaise qualité d'où elle ne pourra pas sortir. De plus, dans ces méthodes, nous ne pouvons pas savoir si la solution estimée se dirige vers la solution optimale si un critère de convergence n'est pas défini, autrement dit, on peut arriver à une solution optimale si la convergence tombe vers 0.

[Toursi, 06] ont proposé une méthode pour résoudre le problème d'optimisation du marquage des GdE valués basée sur un algorithme du recuit simulé modifié. Cet algorithme suit la même démarche que le recuit simulé mais au lieu de générer une configuration dans le voisinage considéré et décider de son acceptation en fonction d'une probabilité, ils décident d'améliorer l'objectif ou de le détériorer suivant une probabilité définie, pour cela. Ils ont appelé le recuit simulé modifié. La méthode du recuit simulé peut être considérée comme une méthode d'optimisation locale qui part d'une solution initiale et l'améliore en déterminant la solution optimale dans un voisinage de solution initiale. Ce processus est répété en remplaçant la solution initiale par la solution optimale jusqu'à convergence. L'avantage de l'optimisation locale est la simplicité mais elle risque de conduire à un optimum local. Pour éviter le piège d'un optimum local, la méthode du recuit simulé accepte des solutions moins bonnes mais cette acceptation est contrôlée par un processus inspiré de la méthode du recuit dans la physique statistique [Kirkpatrick, 83] [Cerny, 85]. Il s'agit de solidifier un matériel en état liquide afin d'atteindre un état d'énergie minimale, cet état ne peut être atteint qu'en partant d'une haute température et en baissant très lentement la température. Cette méthode utilise la notion de température pour contrôler la dégradation des solutions dans la recherche de l'optimum.

De plus, les auteurs ont défini quelques paramètres pour mieux pouvoir résoudre le problème d'optimisation, parmi ces paramètres : ils ont défini la solution initiale comme :  $M_0(p) = x_{p\bullet}$ .  $Pr e(p, p\bullet) \quad \forall p \in P$  où  $Pr e(p, p\bullet)$  est le poids de l'arc reliant la place  $p$  à sa transition de sortie et  $x_{p\bullet}$  est le coefficient du T-invariant correspondant à cette transition ; mais pour le critère d'arrêt, leur algorithme s'arrête et retourne à la meilleure solution trouvée lorsque aucune amélioration n'est possible et aucune détérioration n'est acceptée sur un palier de température donné ou lorsque la température atteint une valeur inférieure à  $\varepsilon$  proche de 0.

Par contre le plus important dans cet algorithme est la procédure d'amélioration de l'objectif et de détérioration de l'objectif. Dans cet algorithme, l'amélioration de l'objectif se fait en enlevant successivement de chaque place  $p$  un jeton à condition que le temps de cycle reste inférieur ou égal à la valeur  $C$ . Pour cela, la valeur du temps de cycle est calculée à chaque fois qu'un jeton est enlevé d'une place. Si cette valeur est supérieure à  $C$ , le jeton est remis dans la place et on passe à la place suivante. Mais la détérioration de l'objectif se fait en ajoutant un jeton dans chaque place  $p$ . Ceci permettra d'atteindre des valeurs maximales de l'objectif et par conséquent de sortir des pièges des minimums locaux.

Pour conclure sur ces méthodes, nous pouvons noter leurs différences :

- Le Recuit Simulé est stochastique et sans mémoire, alors que la méthode Tabou est déterministe et possède une mémoire sous la forme d'une liste ;
- Les paramètres intrinsèques sont moins nombreux pour la méthode Tabou que pour le Recuit Simulé ;
- Le Recuit Simulé ne s'intéresse qu'à un seul voisin à chaque itération, la méthode Tabou nécessite l'exploration exhaustive du voisinage, ce qui peut prendre beaucoup de temps si le cardinal de  $V(s(i))$  est élevé. Dans un tel cas, on se contente donc d'un échantillon du voisinage, prélevé de façon aléatoire ou non.

## ***1.8 Conclusion***

Dans ce chapitre, nous avons rappelé quelques principes de la qualité, ensuite, nous avons montré les principes et les concepts du système de management de la qualité, de plus, nous avons présenté l'approche processus en citant les différentes définitions et les éléments liés à la notion du processus : Produit, Client, Procédure. Par ailleurs, nous avons expliqué les différences entre la vision hiérarchique et la vision processus.

Ensuite, nous avons montré l'évolution de notion du système de production notamment la notion de système de production moderne qui inclut, de plus, l'étude de marché, l'achat de la matière première et des composants, la formation, la fabrication, le conditionnement des produits finis, leur livraison et le service après vente.

Pourtant, nous avons expliqué les étapes et les outils utilisés dans notre méthodologie. Finalement, nous avons montré la modélisation et l'optimisation du système de production.

## **CHAPITRE II**

*Approche de mise en place et modélisation d'un système de  
management de la qualité*





## ***Chapitre II***

### ***Approche de mise en place et modélisation d'un système de management de la qualité***

Dans ce chapitre, nous présentons une méthode pour la mise en place d'un système de management de la qualité en respectant la norme ISO 9000/2000. Cette approche est générique. Son but est doter le système de production avec un outil de pilotage afin de mieux répondre aux objectifs tels que l'augmentation de productivité, la satisfaction du client et l'optimisation du système. Cependant, nous portons une attention particulière aux entreprises qui évoluent dans un environnement économique centralisé. Tel est le cas des entreprises syriennes.

Un premier objectif est de vérifier la cohérence fonctionnelle du système. Dans ce cas, un outil de modélisation qualitatif est suffisant. Nous avons porté notre attention sur les outils de la famille IDEF. Ensuite, dans les chapitres suivants, nous étendons notre analyse aux performances dynamiques du système et nous proposons une méthode pour optimiser l'utilisation des ressources dans le cadre de ce système. Dans cette thèse nous traitons plus spécifiquement le contrôle de la qualité dans la production.

#### ***II.1 Mise en place d'un système de management de la qualité***

Dans le chapitre I nous avons présenté une définition du SMQ, une typologie intéressante des SMQ selon certains chercheurs, le but de SMQ ainsi que le résultat attendu par le pilotage d'un SMQ. Par la suite, nous proposons une méthode pour la mise en place de ce système.

Un système de management de la qualité est un outil de management qui vise à améliorer l'organisation et le fonctionnement d'une entreprise. Dans ce sens, nous pouvons citer le travaux de [Gingele, 02] où les principes d'un modèle technique appelé IDEF<sub>9000</sub> sont discutés. Ce modèle permet de modéliser les activités, les rapports fonctionnels et les données dans une organisation, en utilisant des techniques de reengineering et la norme ISO 9001. Cependant, les auteurs remarquent qu'une grande partie du développement dans le domaine de management de la qualité a une tendance à se concentrer sur la conception et la documentation des systèmes de management de la qualité sans tenir compte de la mise en place d'un tel système au sein d'une organisation. Beaucoup de chercheurs s'intéressent au pilotage d'un système de management de la qualité dans l'entreprise, mais peu d'entre eux

présentent des méthodes pour mettre en place ce système. Par exemple, dans [Partington, 96], l'auteur montre que l'approche projet est assez répandue pour manager les innovations organisationnelles mais dans certains cas, comme la mise en place du système de management de la qualité, ce type d'approche est encore peu utilisé.

Nous pouvons citer également les travaux de [Gautier, 95] qui visent à apporter des éléments de réponses concrètes à l'attente de fiabilisation du processus de conception de produits nouveaux au niveau du management de l'information. Dans ce cadre, les auteurs ont proposé des étapes pour la mise en place d'un système de management de la qualité :

1. Analyser le projet sous l'aspect processus pour en dégager les premiers éléments de sa modélisation ;
2. Analyser les modalités de prise en compte des risques ;
3. Montrer que ces risques sont gérés, de manière formelle en terme de coûts, délai et performance.

La méthode que nous proposons porte sur la mise en place et le pilotage des systèmes de management de la qualité. Plus particulièrement, nous sommes intéressés au cas des entreprises qui évoluent dans des pays d'économie émergente. Un cas typique est représenté par les entreprises contrôlées par l'état. Nous avons choisi l'exemple d'un service de maintenance d'une centrale thermique. Cette organisation est caractérisée par :

- Une forte dépendance des organismes de tutelle, notamment le Ministère, ce qui rend la durée du processus de prise de décision particulièrement importante ;
- L'existence d'un coût de la main d'œuvre particulièrement faible ;
- Un traitement différé des achats selon leur valeur. Les achats dont le montant dépasse un certain seuil doivent faire l'objet d'une validation par le ministre, ce qui entraîne un délai supplémentaire.

Le principe du pilotage par la qualité d'un service de maintenance d'une centrale thermique est illustré dans la Figure II.1.

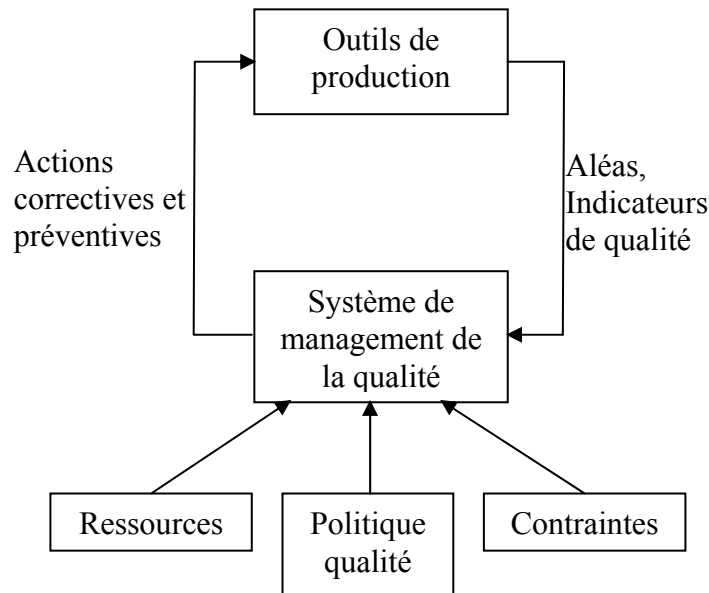


Figure II.1. Principe du pilotage par la qualité

Par la suite, nous présentons les étapes que nous proposons pour la mise en place d'un SMQ au sein de ce système de production [Alahmad, 05a] :

1. Préciser la politique qualité et les objectifs qualité de l'entreprise ;
2. Déterminer les processus critiques par rapport aux objectifs qualité ;
3. Déterminer l'efficacité de chaque processus et rechercher des possibilités d'amélioration ;
4. Déterminer les actions permettant de réduire le nombre de pannes et de non conformités ;
5. Déterminer les risques et choisir les améliorations qui peuvent donner les meilleurs résultats avec un minimum de risques ;
6. Planifier les procédures, les processus et les moyens permettant de mettre en places les améliorations identifiées ;
7. Mettre en œuvre le plan d'actions ;
8. Surveiller des effets des améliorations ;
9. Evaluer les résultats obtenus par rapports aux résultats prévus ;
10. S'il y a une révision des objectifs qualité, aller à l'étape 1 sinon aller à l'étape 3.

## II.2 Description de l'entreprise

L'entreprise choisie pour cette étude est une centrale thermique. Ce type d'entreprise est caractérisé par une forte dépendance au niveau décisionnel des organismes de tutelle (Ministère, gouvernement). Nous focalisons notre attention sur le service de maintenance de

cette entreprise. Ce service joue un rôle important dans la performance de l'entreprise dans la mesure où il veille au bon fonctionnement des moyens de production.

La structure de cette organisation est illustrée dans la Figure II.2.

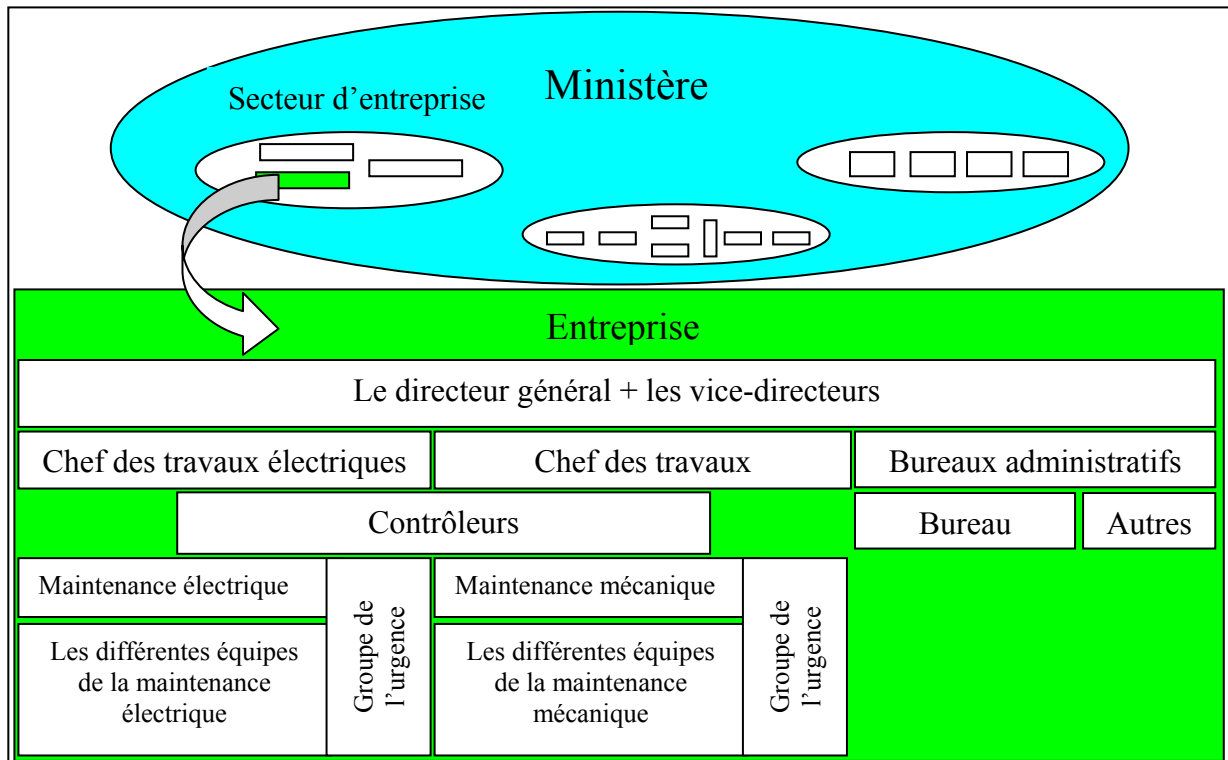


Figure II.2. Architecture d'une centrale thermique

### II.2.1 Objectif du service maintenance

Le rôle du service maintenance dans une centrale thermique est d'assurer le bon fonctionnement des installations : les chaudières, les pompes, les valves...etc. Ce service doit effectuer toutes les opérations de maintenance préventive et corrective.

### II.2.2 Ressources du service maintenance

Le service maintenance dispose des ressources humaines et des ressources techniques propres. D'un côté, les ressources humaines sont représentées par les opérateurs de maintenance organisés en équipes de maintenance. Vu le faible coût de la main d'œuvre, une éventuelle réduction du nombre d'opérateurs de maintenance ne représente par un gain significatif. D'un autre côté, les ressources techniques sont représentées par les équipements et les matériaux nécessaires pour réaliser la maintenance. Tout besoin de matériaux ou des équipements, doit faire l'objet d'une demande auprès du bureau d'achat. L'achat est conditionné par le budget technique, ainsi que par un seuil fixé pour chaque achat.

Le traitement d'une demande d'achat est différent selon la position de sa valeur par rapport à un seuil fixé :

- Si le montant est inférieur au seuil fixé, alors l'achat peut se faire sans validation préalable par le Ministère ;
- Sinon, l'achat doit être validé au niveau du Ministère, ce qui entraîne des délais supplémentaires.

### ***II.2.3 Indicateurs de maintenance***

Il y a deux types de maintenance dans une centrale thermique : la maintenance préventive périodique et la maintenance corrective.

Les données nécessaires pour déclencher les deux types d'activité de maintenance sont envoyées par le système de surveillance (Contrôleurs).

## ***II.3 Application de la méthode de mise en place de système de management de la qualité***

### **Etape 1 : Préciser la politique qualité et les objectifs qualité de l'entreprise**

Dans cette étape, la direction doit préciser la politique et les objectifs qualité. En effet, la politique qualité permet d'orienter l'activité de l'entreprise afin d'assurer la satisfaction de ses clients. Dans le cas d'un service de maintenance, le client est représenté par le système de surveillance qui est en même temps le commanditaire et le bénéficiaire des opérations de maintenance. Il exige que les équipements de la centrale thermique fonctionnent correctement.

### **Etape 2 : Déterminer les processus critiques par rapport aux objectifs qualité**

Un objectif qualité est un but atteignable et mesurable, lié à l'application de la politique qualité. Les processus essentiels permettant d'atteindre les objectifs qualité d'un service de maintenance sont les suivants : le processus de maintenance, le processus d'achat, et le processus de formation.

**Processus de maintenance** : un processus de réalisation

Les Figure II.4 et Figure II.3 présentent la modélisation du processus de maintenance. Dans la Figure II.4 nous avons montré le processus de maintenance en déterminant le rôle de chaque acteur dans ce processus.

Les contraintes envisagées ici sont les informations qui viennent de la part des Contrôleurs et la qualité des outils. Les éléments de pilotage pour cette activité sont : le budget, les programmes de maintenance préventive et corrective et les lois de dégradation des machines et des composants.

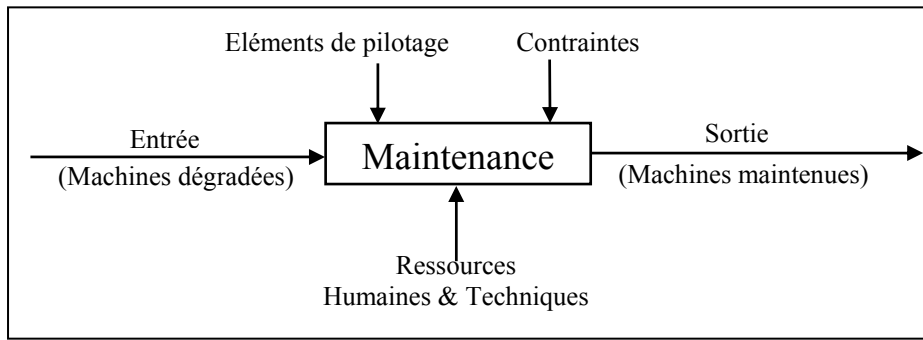


Figure II.3. Schéma du processus de maintenance

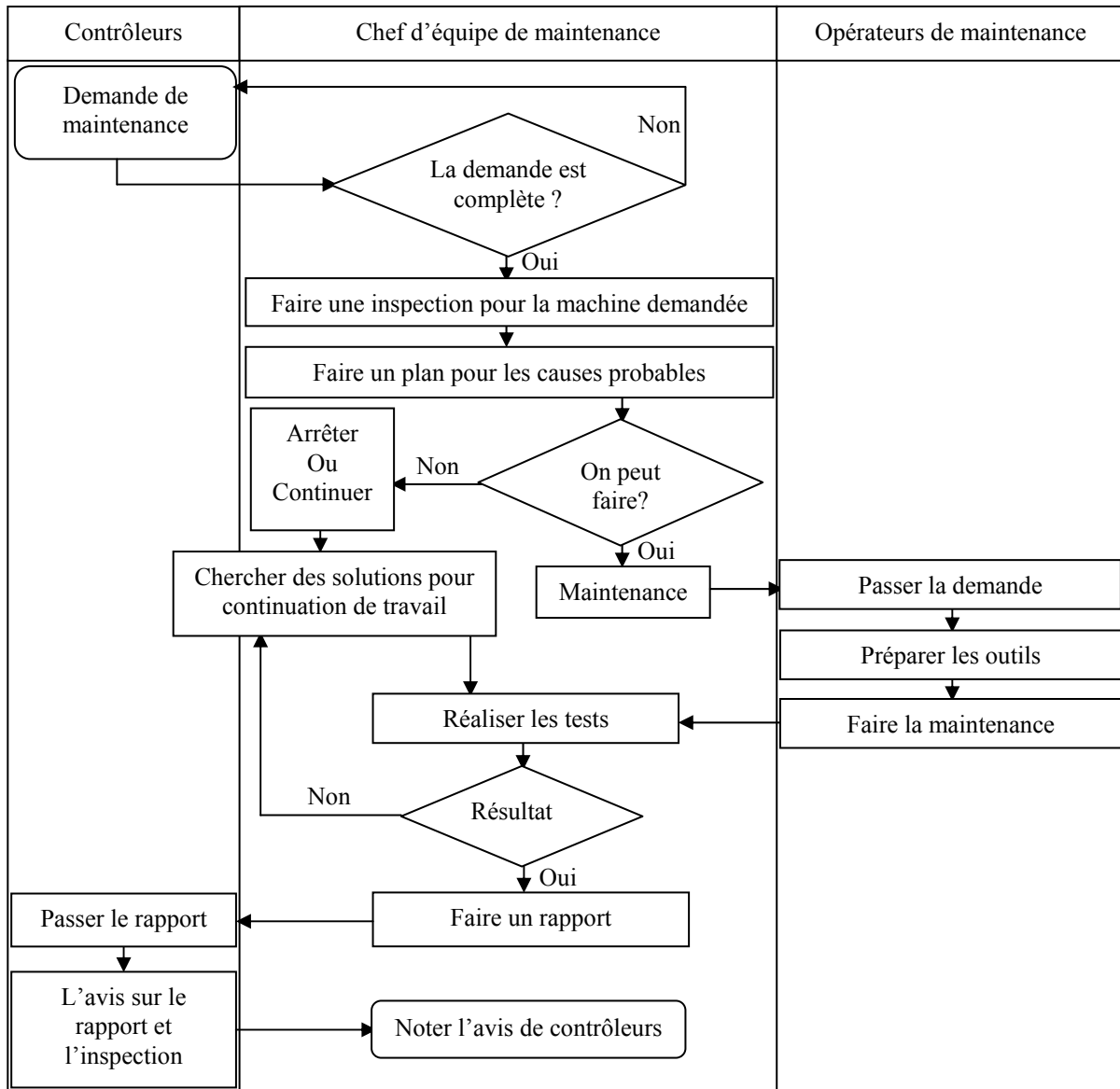


Figure II.4. Fonctionnement du processus de maintenance dans une centrale thermique

**Processus d'achat : un processus support**

Ce processus est très important parce qu'il assure la disponibilité des ressources techniques nécessaires au bon déroulement des opérations de maintenance.

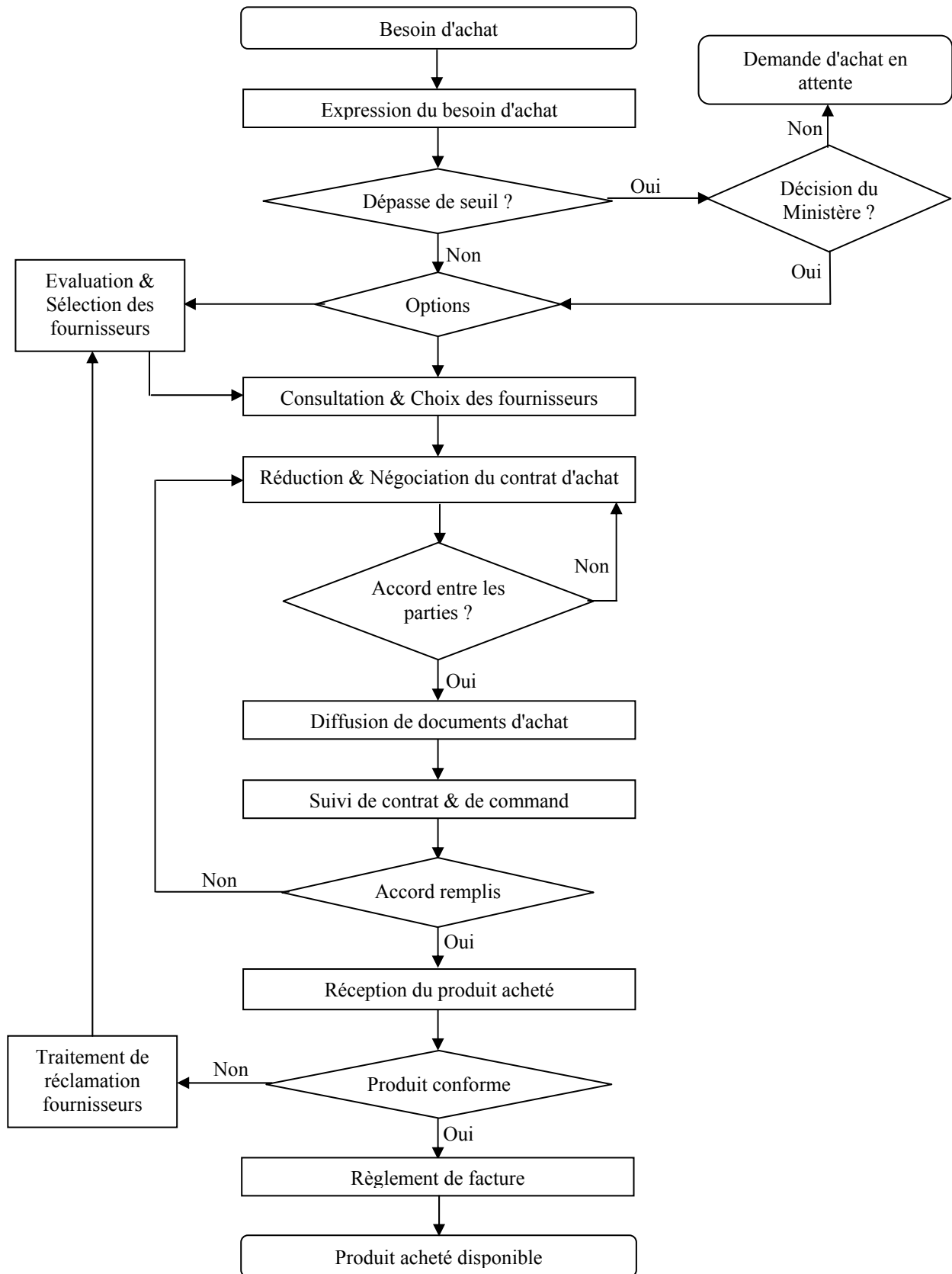


Figure II.5. Schéma de fonctionnement du processus d'achat

Il faut dire que si le montant de l'achat ne dépasse pas un seuil fixe, alors le processus d'achat est piloté par le bureau d'achat. Par contre, si le montant est supérieur à un seuil donné, la décision d'achat est prise au niveau du Ministère. Nous expliquons le



fonctionnement du processus d'achat dans la Figure II.5 en se basant sur la proposition de [Massot, 01].

### Processus de formation : évaluer la formation

La finalité de ce processus est de fournir aux opérateurs de maintenance les compétences nécessaires pour bien accomplir les opérations de maintenance. Les ressources du processus de formation sont le budget technique de l'entreprise. Nous estimons la compétence des opérateurs à partir du modèle d'Harzallah [Harzallah, 00], illustré dans la Figure II.6.

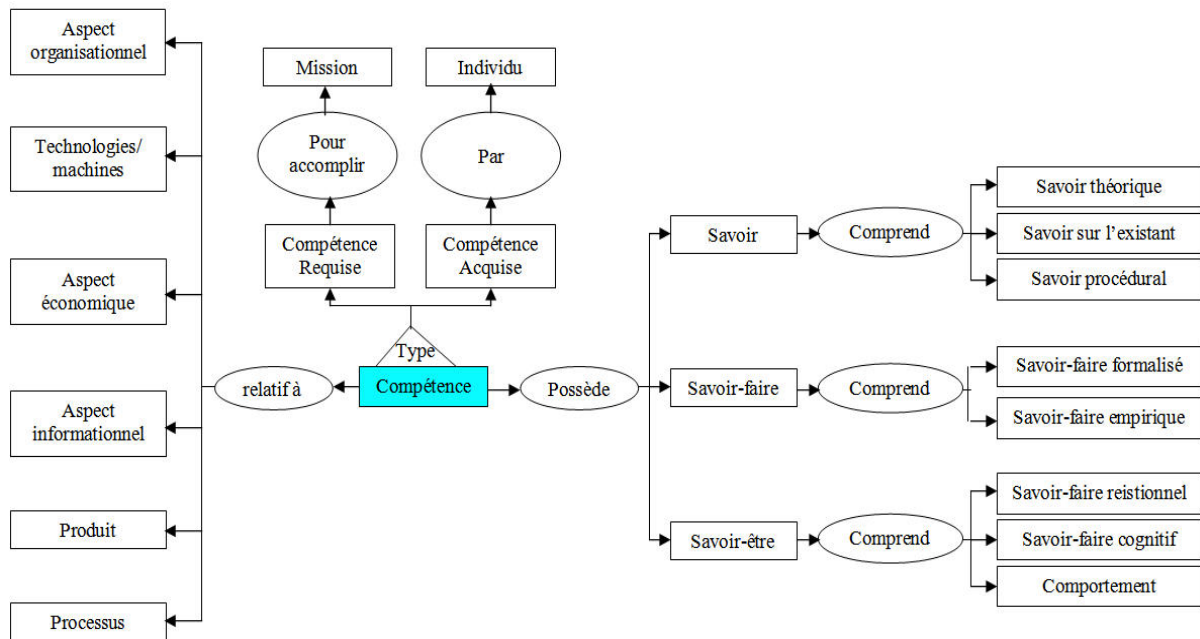


Figure II.6. Modèle explicatif et global de la compétence [Harzallah, 00]

Ce modèle définit les attributs de la compétence. Selon l'auteur, la compétence est soit requise soit acquise. La compétence nécessite des ressources et se réalise dans un contexte défini en étant liée à l'accomplissement d'une ou plusieurs tâches. Plusieurs termes désignent les catégories de ressources de la compétence : savoirs, connaissance, savoir-faire, expériences, aptitudes, capacités, traits de personnalité. De plus, il y a plusieurs manières de structurer les ressources de compétence en catégories. [Harzallah, 00] dans le cadre de ses travaux de recherche sur la réorganisation d'entreprise, s'appuyant sur les travaux de [Boterf, 98], propose une caractérisation et un modèle d'explication de la compétence [Clementz, 00]. En plus, nous pouvons indiquer que le modèle montré dans la Figure II.6, définit la compétence par une combinaison de ressources pour une mise en œuvre finalisée dans un contexte donné.

### **Etape 3 : Déterminer l'efficacité de chaque processus, rechercher les possibilités d'amélioration**

Un système de management doit se fonder sur l'analyse des processus et des techniques statistiques de contrôle pour fournir les données nécessaires à des ajustements ou à des améliorations des processus qui ne fonctionnent pas aux conditions définies [Holdsworth, 03].

#### **Processus de réalisation : processus de maintenance**

Les centrales thermiques sont équipées des machines de grande taille (chaudière, pompes...). La maintenance de ces machines nécessite des moyens de manutention appropriés. Par conséquent, l'environnement nécessaire pour réaliser les travaux de maintenance dans des bonnes conditions doit être caractérisé par des moyens de manutention, des outils suffisamment précis et des opérateurs de maintenance qualifiés. L'efficacité du processus de maintenance peut être mesurée à travers des tests de performance des équipements réparés. Les indicateurs que nous proposons pour mesurer l'efficacité de cette activité sont le taux d'intervention avec succès ainsi que le temps moyen de bon fonctionnement.

#### **Processus d'achat**

Pour vérifier l'efficacité de ce processus, nous devons contrôler l'adéquation des outils achetés au besoin exprimé. Cette vérification vise à déterminer la conformité entre la qualité demandée pour les outils et la qualité des outils achetés. De plus, pour réaliser ce processus dans un environnement optimal, il faut insister sur la compréhension du bureau d'achat de la nécessité de privilégier, lors de la négociation, la qualité des outils.

#### **Processus de formation**

Le besoin en formation des opérateurs de maintenance est établi par le chef de l'équipe qui envoie la proposition aux bureaux administratifs. L'efficacité de la formation peut être évaluée à partir du taux d'intervention avec succès et de la rapidité de l'intervention.

### **Etape 4 : Déterminer les actions permettant de réduire le nombre de pannes et de non conformités**

Pour réaliser cette étape, nous utilisons le digramme cause-effet montré dans la Figure II.7. Les avantages de ce diagramme sont nombreux : il permet de visualiser les relations de

cause à effet qui sont toujours complexes, en plus il nous aide à comprendre les liens entre les causes (classification...) [Pillet, 01b].

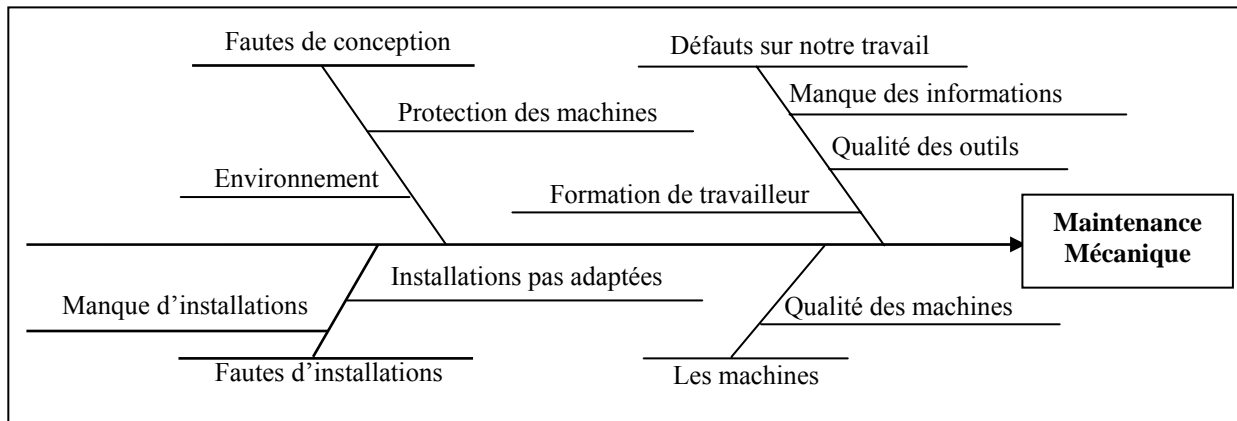


Figure II.7. Digramme cause-effet du service de maintenance dans une centrale thermique

### Etape 5 : Déterminer les risques, et choisir les améliorations qui peuvent donner les meilleurs résultats avec un minimum de risques

Dans la Figure II.8, nous présentons les risques et les contraintes associées. Dans ce schéma nous proposons également une solution pour chaque risque et la manière de mesurer l'efficacité de chaque solution.

Les principaux risques sont classés en trois catégories : coûts, délai et conformité. L'activité du service de maintenance est assujettie au budget technique alloué. Le risque liés aux coûts concerne les produits achetés par le service de maintenance. Il s'agit des matériaux ainsi que la formation nécessaire pour garantir la disponibilité des compétences nécessaires au bon fonctionnement du service.

Compte tenu de la taille des machines utilisées dans une centrale thermique, les risques liés au délai de mise à disposition des équipements en maintenance sont dépendants surtout des outils disponibles ainsi que des moyens de transport.

La conformité vise les travaux de maintenance mais également l'adéquation des outils achetés à la spécificité des opérations de maintenance réalisées au sein du service.

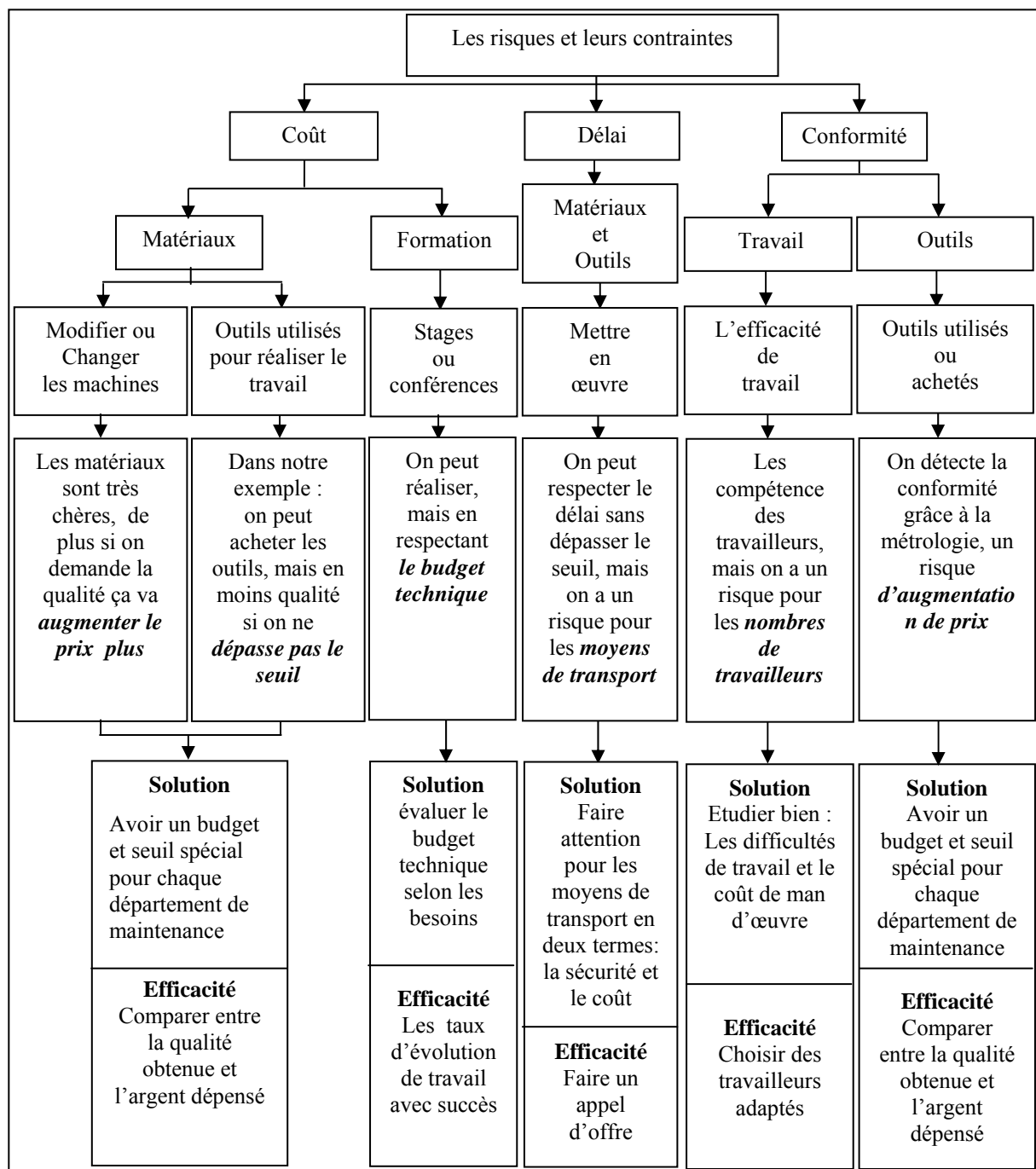


Figure II.8. Risques et leurs contraintes

La Figure II.9 montre la séparation entre les risques et les contraintes associées pour faciliter le choix des améliorations et la façon de planifier ces améliorations. Les flèches pointées signifient le chemin proposé pour planifier les améliorations choisies. Enfin, les abréviations S&C signifient stages et conférences et l'abréviation MI signifie la décision du Ministère.

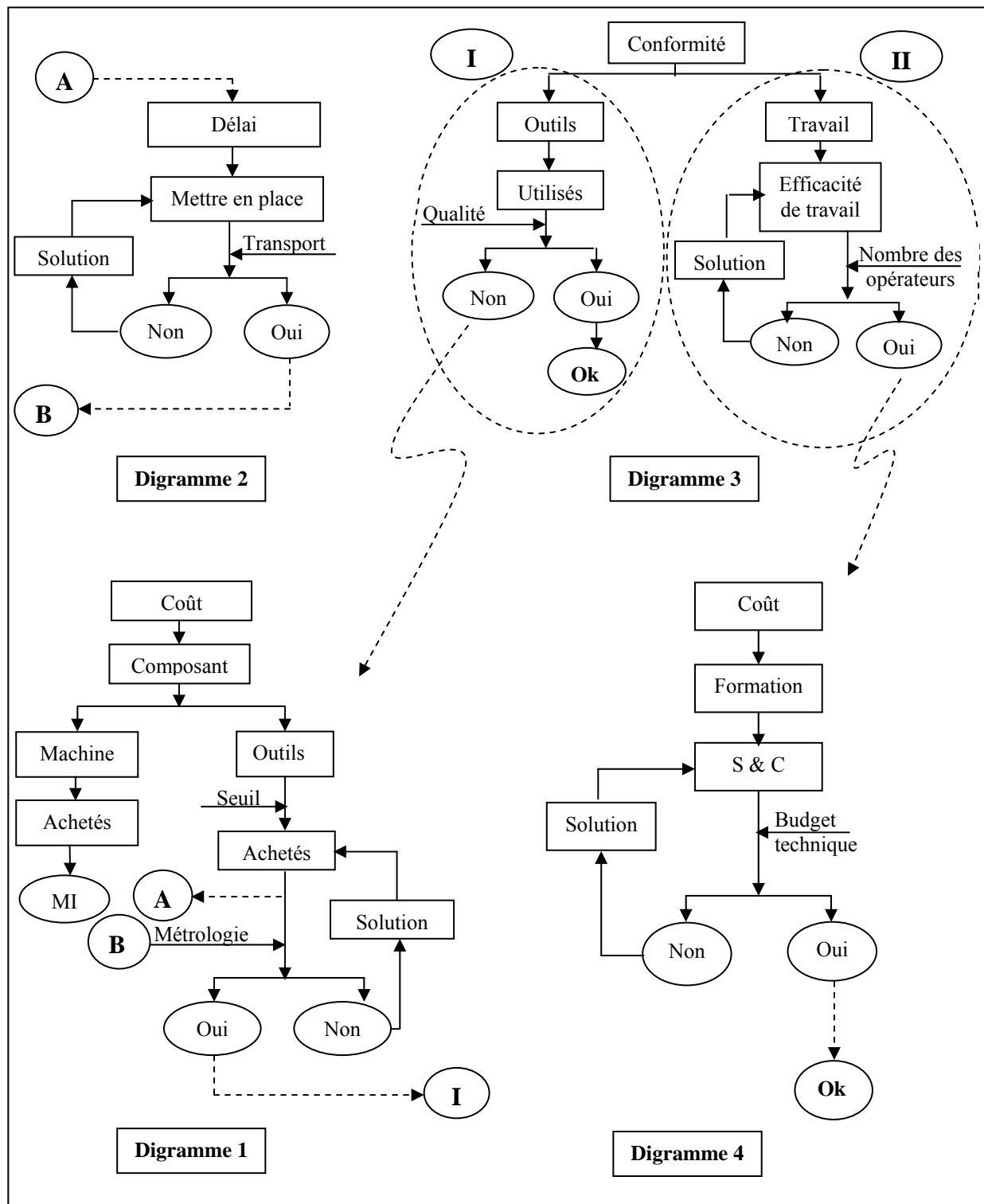


Figure II.9. Planifications des améliorations proposées

**Etape 6 : Planifier (les procédures, les processus et les moyens) permettant de mettre en place les améliorations identifiées**

La Figure II.9, nous permet de planifier les améliorations choisies, elle montre les chemins suivis, tout en respectant les contraintes.

En ce qui concerne le choix de modifier ou changer les machines, c'est le résultat d'une décision du ministre. Le risque, défini dans ce cas par un délai important, est très élevé.

La nécessité d'une décision prise au niveau du ministère est marquée, dans la Figure II.9 digramme 1, par le signe MI. De plus, le digramme 1 présente également l'achat de nouveaux outils. Dans ce cas, les contraintes à respecter sont les suivantes : 1) le seuil d'achat ; 2) la vérification de la qualité des outils achetés (métrologie) et 3) le délai. Ces contraintes sont illustrées dans les digrammes 1 et 2. Après avoir vérifié les digrammes 1 et 2, on continue avec la vérification du digramme 3 partie I, en sachant que nous pouvons aussi réaliser le digramme 3 partie I pour les composants anciens. Nous remarquons que ces diagrammes ont une structure en boucle fermée.

Un autre chemin pour la mise en place d'une amélioration consiste à parcourir les étapes illustrées dans le diagramme 3, partie II suivie par le diagramme 4, tout en prenant en compte les contraintes sur le nombre d'opérateurs de maintenance disponibles et le budget technique.

Les autres étapes (étapes 7, 8, 9 et 10) sont des étapes pratiques, liées à l'application effective de la méthode proposée au sein de l'entreprise.

## ***II.4 Approche formelle***

Nous avons vu qu'il y a des étapes pratiques (étapes 7, 8, 9 et 10) dans notre méthode de mise en place d'un SMQ. Ces étapes pratiques ne permettent pas de bien valider la réussite de cette méthode. Cependant, la mise en place d'une organisation nécessite du temps et un certain budget. Par conséquent, il est important de disposer d'outils formels pour la vérification de la cohérence fonctionnelle des processus et de la possibilité d'amélioration et de maîtriser des processus.

L'approche formelle que nous proposons est basée sur les outils de la famille IDEF. Ces outils permettent une représentation fonctionnelle claire du système, ainsi que de la relation entre les différentes fonctions. Par la suite, nous détaillons ces outils.

### ***II.4.1 Famille d'IDEF***

IDEF (**I**ntegrated computer aided manufacturing **DEF**inition language) est une technologie standardisée développée par l'U.S. Air Force sous le programme ICAM [ICAM, 81a] [ICAM, 81b]. Son but est de définir l'architecture de systèmes industriels. Ces méthodes fournissent une réponse aux besoins ressentis en analyse et en communication entre les personnes impliquées dans l'amélioration de la productivité des entreprises [Johansson, 93] [Cheung, 98].

Elle est couramment utilisée par les industriels dans le cadre de l'analyse d'entreprise, de la définition de processus, et de la modélisation de processus ou des activités [Galland, 01].

IDEF est un ensemble de méthodes composé de :

- IDEF0 : Modélisation basée sur les activités,
  - IDEF1 : Modèles informationnels,
  - IDEF1X : Modélisation de structures de données,
  - IDEF2 : Modèles pour la simulation,
  - IDEF3 : Saisie de descriptions de processus,
  - IDEF4 : Conception orientée objet,
  - IDEF5 : Saisie de descriptions d'ontologies,
  - IDEF6 : Saisie de rationalités conceptuelles,
  - IDEF7 : Méthode d'audit pour les systèmes d'information,
  - IDEF8 : Modélisation d'interfaces utilisateurs,
  - IDEF9 : Spécifications de la conception dirigées par scénarios des systèmes d'information,
- ....etc.

Nous utilisons dans notre approche les méthodes IDEF0 et IDEF3.

#### **II.4.1.1 IDEF0/SADT**

IDEF0 est une méthode basée sur « Structured Analysis and Design Technique » (SADT) qui est une méthode dédiée à la modélisation des spécifications formelles. SADT est composée de deux parties : 1) un formalisme qui exprime la définition des fonctions d'un système (Structured Analysis) et 2) la démarche d'élaboration du modèle (Design Technique).

Cet outil s'applique à des systèmes comportant des tâches à réaliser : systèmes d'information, système de production, processus industriels, ...etc. Cette méthode facilite la communication entre les équipes de travail [Reimann, 95], [Hasan, 02], [Peffer, 05] grâce aux caractéristiques suivantes :

- Très bonne lisibilité ;
- Nombre restreint de concepts de base ;
- Aptitude à communiquer dans un langage non informatique ;
- Structure hiérarchique et modulaire du modèle obtenu ;
- Utilisation des diagrammes basés sur des éléments graphiques simples, composés de boîtes et de flèches ;

- Utilisation des étiquettes textuelles pour identifier les boîtes et les flèches et un glossaire qui définit avec précision la signification des éléments de chaque diagramme ;
- Bonne représentation dont la précision augmente graduellement, commençant par une hiérarchie des fonctions principales du système et progressant par des niveaux de plus en plus bas jusqu'aux fonctions élémentaires du système ;
- Bonne représentation des flux des fonctions et des données d'un système étudié parmi les autres fonctions.

Cet outil est utilisé également pour bien détailler et comprendre les processus et les activités dans les entreprises complexes comme par exemple les hôpitaux [Staccini, 05].

La méthode SADT analyse un système ou un produit, de manière descendante, modulaire et hiérarchique. Plusieurs concepts fondamentaux sont à la base de la méthode SADT. Avant tout, une analyse par SADT d'un système permet d'en construire un modèle, afin d'obtenir un enchaînement d'actions et de données moins complexes que celles de départ.

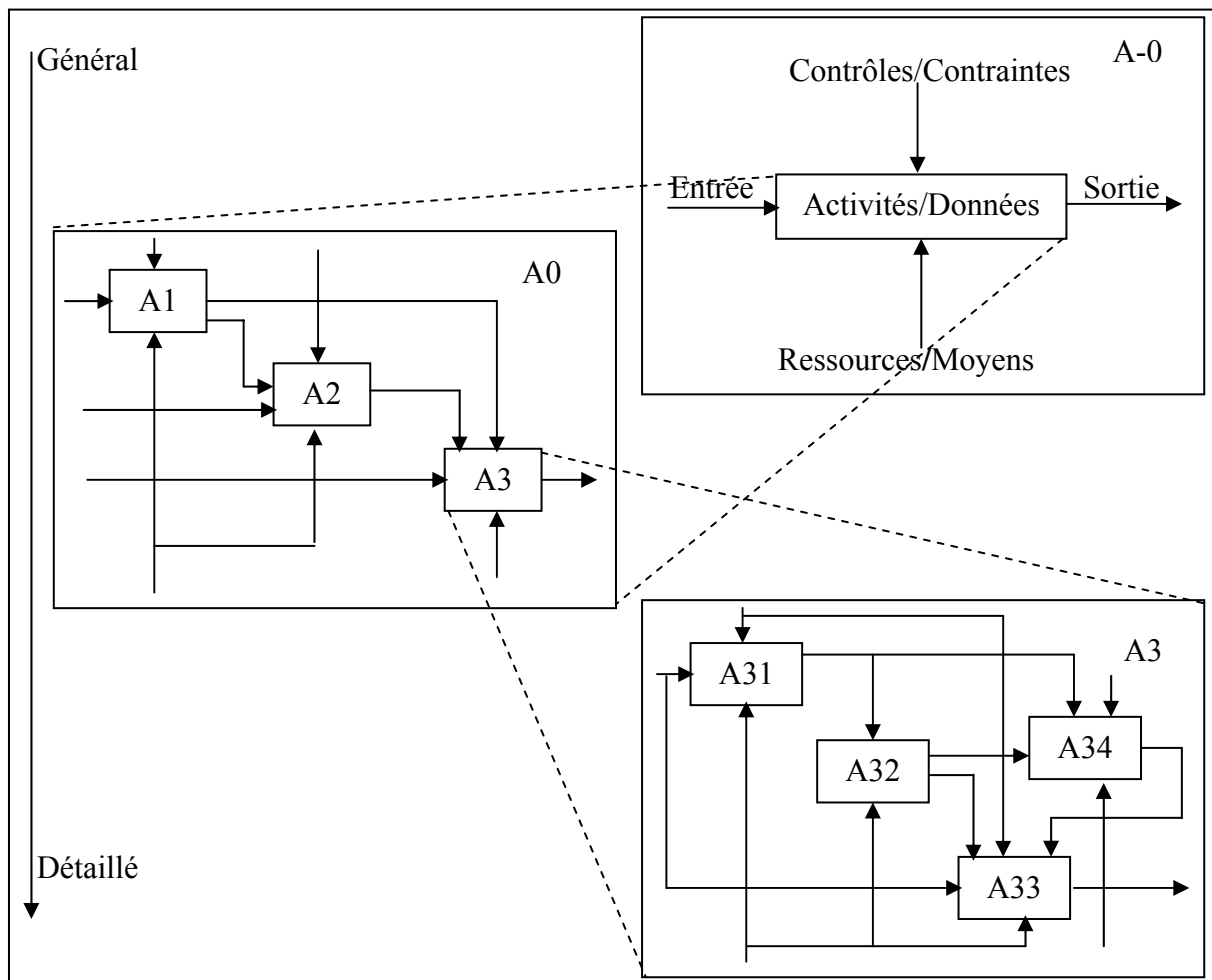


Figure II.10. Principe de la méthode SADT



Plusieurs modèles SADT peuvent s'avérer nécessaires pour exprimer différents points de vue : le point de vue du concepteur, de l'utilisateur, des opérateurs de contrôle, de l'équipe de maintenance, etc. Ces différentes représentations permettent une meilleure compréhension du système.

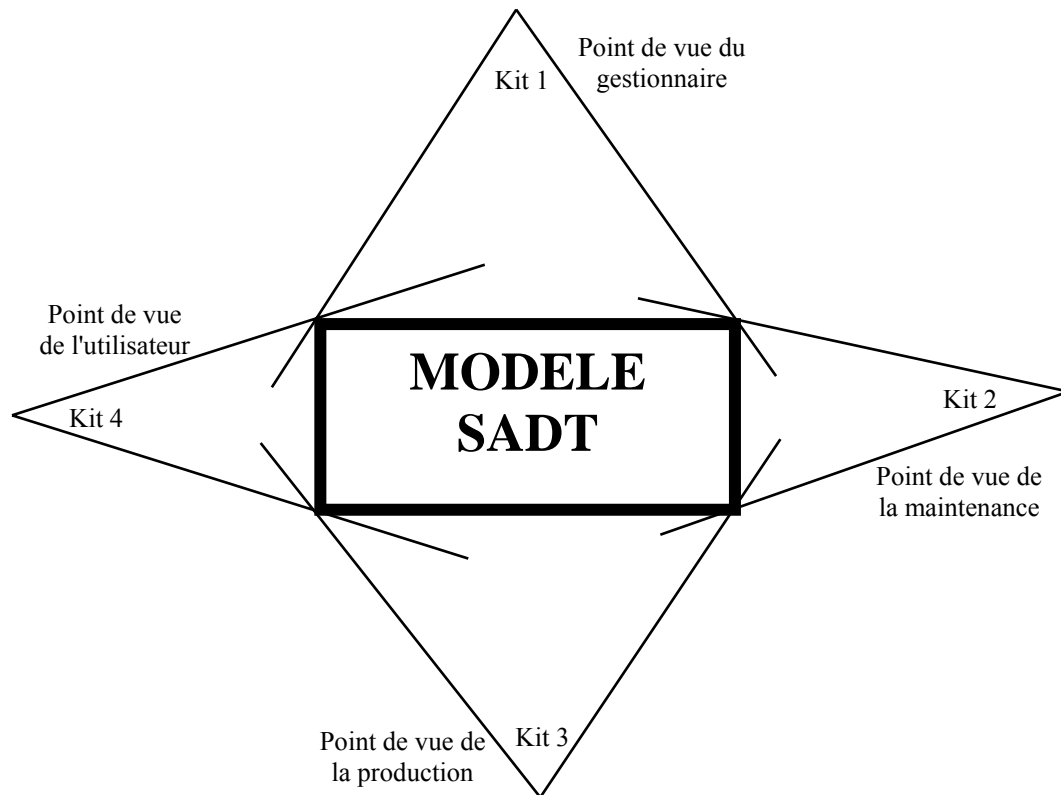


Figure II.11. Modèle SADT avec des points de vue

SADT est une méthode d'analyse descendante, hiérarchique, modulaire et structurée. Elle permet ainsi de faire ressortir le maximum de détails au fur et à mesure que l'on progresse dans la décomposition. La profondeur de la décomposition dépend du grain informationnel entre les différents niveaux. De plus, elle est limitée par la lisibilité des diagrammes, ce qui implique que chaque diagramme de niveau inférieur contient une quantité limitée d'informations relatives à un sujet précis.

SADT permet la séparation du "QUOI" et du "COMMENT" en fournissant une description fonctionnelle d'un système indépendamment des diverses solutions envisageables pour sa réalisation. Par conséquent, il répond à deux niveaux d'abstraction : le niveau conceptuel et le niveau organisationnel.

SADT modélise le système selon deux aspects : les "données" et les "activités". Les données ou objets sont les composants du système. Ils sont représentés à l'aide de datagrammes. Les activités (humaines, matérielles et logicielles) sont représentées à l'aide d'actigrammes (Figure II.12). Les activités sont représentées par des verbes, alors que les

données de contrôle, les données d'entrée, les données de sortie et les supports de l'activité sont représentés par des substantifs.

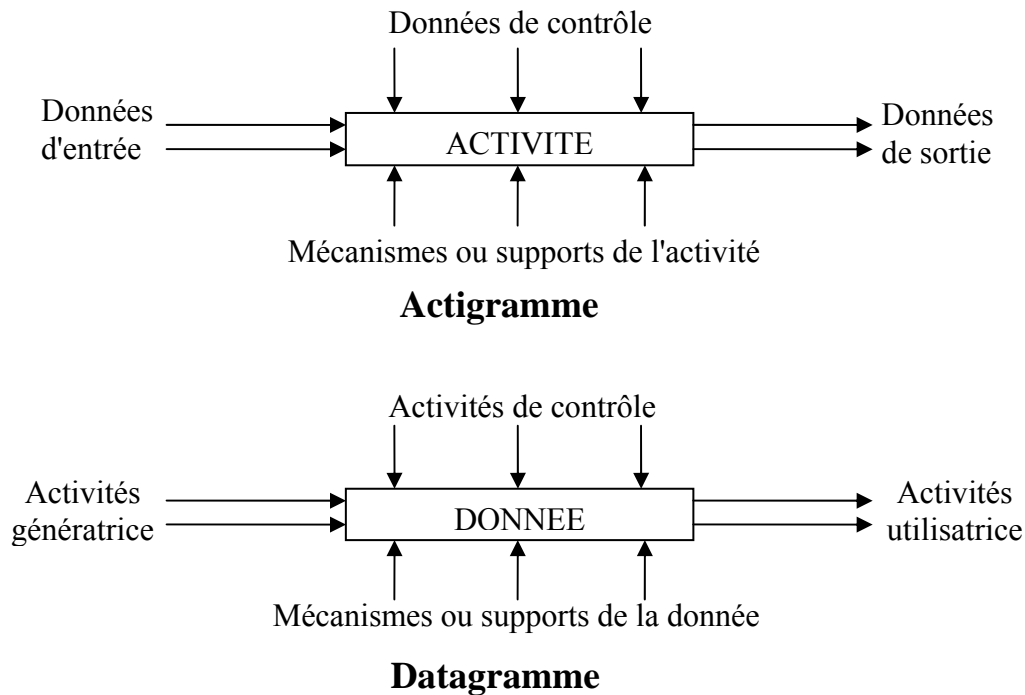


Figure II.12. Actigramme et datagramme du modèle SADT

Les flèches représentent les contraintes de liaison entre les boîtes, mais ne symbolisent en aucun cas des ordres de séquençement comme par exemple dans un organigramme. Lorsque les boîtes SADT décrivent une activité, les flèches interagissent sur celle-ci de la façon suivante [Tailland, 00] :

- Les données d'entrée sont les données sollicitées par l'activité pour remplir son rôle, elles sont donc modifiées par l'activité ;
- Les données de contrôle sont les données qui entraînent une contrainte sur la façon dont l'activité sollicite l'entrée ; contrairement aux données d'entrée, elles ne sont pas modifiées par l'activité ;
- Les mécanismes ou supports de l'activité illustrent les moyens mis en œuvre pour réaliser l'activité ;
- Les données de sortie sont les données générées par l'activité.

La représentation graphique adoptée par SADT permet ainsi de décrire le processus en plusieurs niveaux, d'en montrer les relations, d'exposer les détails de façon progressive, contrôlée et concise tout en évitant les imprécisions inhérentes au langage naturel. De plus, cette méthode favorise le travail en équipe. Chaque membre de l'équipe a la possibilité de

communiquer ses idées, ses décisions ; les résultats peuvent alors facilement être mis en évidence.

Les modèles SADT peuvent contenir également des flèches à double sens. Dans ce cas, on met un petit point sur le côté de l'extrémité de la flèche pour rappeler qu'elle est bidirectionnelle.

Nous pouvons résumer que un modèle de SADT ou un kit de modèle SADT est composé de :

- Diagramme d'**ACTIVITES** ou **ACTIGRAMMES** représentant l'ensemble des activités du système ;
- Digramme de **DONNEES** ou **DATAGRAMMES** montrant l'ensemble des données du système ;
- **TEXTES** explicatifs sur les **ACTIGRAMMES** et **DATAGRAMMES** ;
- Digrammes **Pour Explication Seulement** appelé **P.E.S** ;
- Une **LISTE HIERARCHIQUE** : schéma de la hiérarchie du système analysé ;
- Une **GLOSSAIRE** définissant les principaux termes employés dans les diagrammes et textes ;
- **CONDITION D'ACTIVATION**.

Enfin, nous pouvons citer qu'il y a des points communs entre certains modèles de la famille IDEF et SADT. Par exemple, IDEF0 qui analyse la fonctionnalité du système, est identique à une description par actigrammes SADT. IDEF1 analyse la structure des informations mises en jeu par l'intermédiaire d'un modèle entité-association. Ce modèle est équivalent aux datagrammes de SADT.

### II.4.1.2 IDEF3

IDEF3 est une méthode de modélisation graphique basée sur la description des processus. Cette description est réalisée par des diagrammes de flux, complétés par des documents d'information. La méthode IDEF3 offre un graphisme qui facilite la compréhension d'un système complexe [Marier, 96].

Les diagrammes de flux sont composés à partir de quatre éléments :

- Les *unités de comportement* (UDC) qui représentent toute entité ou artefact pouvant être produit par le système. Elles sont représentées par un rectangle divisé en trois zones : son nom, son niveau de détail dans la décomposition hiérarchique, et le numéro d'une éventuelle activité IDEF0 associée ;
- Les liens utilisés pour relier les UDC ;

- Les connecteurs logiques (ET, OU, et OU exclusif) ;
- Les références, propres à IDEF3, permettent d'accéder à une partie du modèle (ou à un autre modèle) [Vernadat, 99].

Même si les concepts de base d'IDEF3 proposent un grand pouvoir expressif, les modèles obtenus sont de nature qualitative et ne permettent donc pas l'analyse et l'optimisation des processus modélisés.

Dans IDEF3, nous écrivons le processus selon les rapports de priorité et de causalité entre les activités et les événements de ce processus, ainsi, IDEF3 est une méthode structurée utilisée pour exprimer comment un système ou une organisation fonctionne et pour montrer différentes vues d'utilisateur du système. Elle se compose de deux modèles : un modèle de description du flux de processus et un modèle description de transition d'état. Le premier modèle (en anglais PFD Process Flow Description) décrit le fonctionnement de l'organisation. Le deuxième modèle (en anglais OSTD Object State Transition Description) récapitule les transitions permises d'un objet dans un processus [Hanrahan, 95].

La méthode IDEF3 permet donc d'exprimer aisément les relations causales et de précedence rencontrées dans l'expression des processus d'entreprise. En revanche elle fait totalement abstraction de la présence de l'entité humaine et néglige donc sa description. Notons cependant que d'autres extensions de la méthode IDEF définissent bien évidemment la présentation associée à la notion de ressource [Bennour, 04].

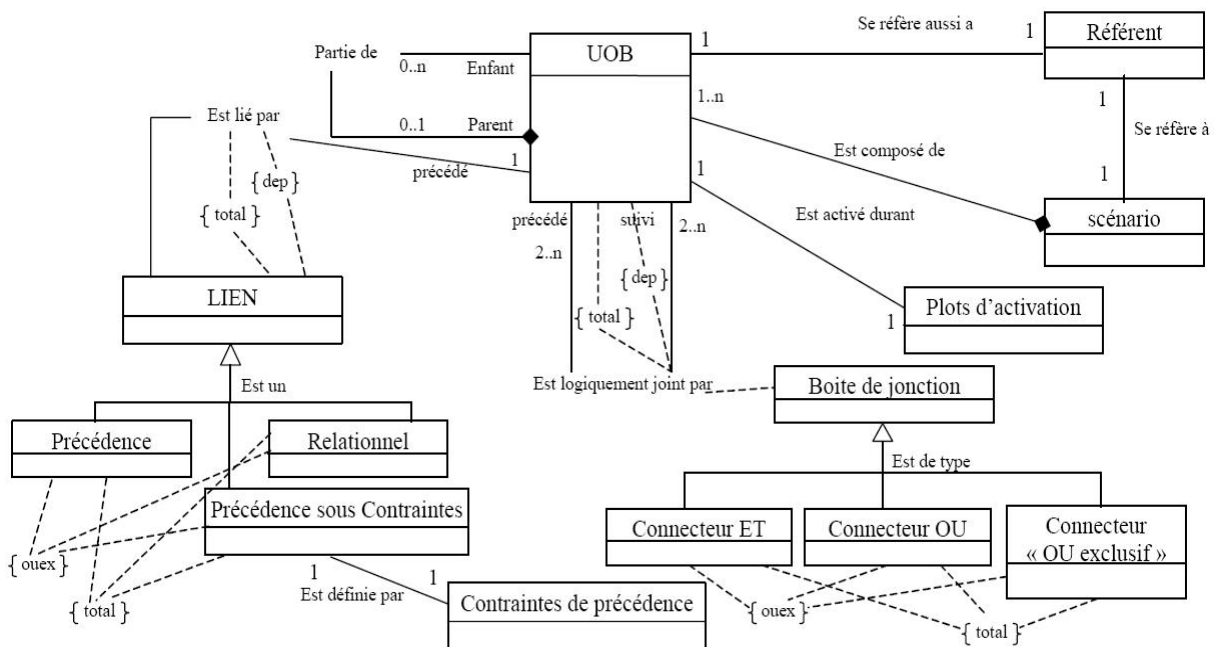


Figure II.13. Méta-modèle de IDEF3 [Mayer, 95]

La Figure II.13 présente le méta-modèle de IDEF3 selon [Mayer, 95]. En sachant que l'auteur a utilisé les principes et les concepts de méthode UML pour construire un méta-

modèle de IDEF3. La description d'un processus s'articule autour du construit d'**Unité De Comportement** (UDC) qui définit une étape quelconque d'un processus. Pour former des **Scénarios**, les UDC sont connectées par l'intermédiaire de **Liens** et de connecteurs logiques (Boîtes de jonction). Ces derniers traduisent les flux de contrôle, synchrones ou asynchrones, d'un processus.

### ***II.5 Modèle SADT du service de maintenance***

Par la suite, nous proposons un modèle SADT pour le service de maintenance d'une centrale thermique. Ainsi, nous détaillons les étapes de la création du modèle SADT afin de bien montrer la force et l'efficacité de ce modèle. La préparation pour créer le modèle SADT commence par la création du contexte général, dans ce domaine, il faut choisir le but et le point de vue, par exemple, notre but est la mise en place d'un système de management de la qualité pour le service de maintenance dans une centrale thermique. Le service de maintenance exécute le programme de maintenance (maintenance corrective et préventive), les acteurs dans ce service sont (voir Figure II.2) :

- Directeur ;
- Chef de travaux de maintenance ;
- Chef d'équipe ;
- Contrôleurs & Opérateurs.

Ce service participe à la satisfaction des clients (consommateurs d'électricité) car la productivité d'énergie dépend directement du bon fonctionnement des machines. Les acteurs qui participent à la mise en œuvre de la maintenance préventive, sont le directeur du service, le chef de travaux de maintenance, chefs d'équipe, les opérateurs ainsi que les contrôleurs qui fournissent des données nécessaires à l'élaboration du programme de maintenance. Ce programme intègre des contraintes imposées par les organismes de tutelle.

Les acteurs impliqués dans la maintenance curative sont les contrôleurs, les chefs d'équipe et les opérateurs.

Ensuite, la création de diagramme A-0 qui nous aide à poser le cadre général du service de maintenance. On y retrouve les entrées, les résultats obtenus suite à l'activité du service, les contraintes à respecter et les ressources disponibles.

Les autres étapes sont la création d'une base de données grâce à l'interview des experts. Ensuite, l'organisation des données obtenues dans une liste, le regroupement des données, la réalisation d'une liste d'activités sollicitant les données regroupées, le regroupement des activités manipulant les mêmes groupes de données.

Par la suite, nous détaillons progressivement l'activité du service.

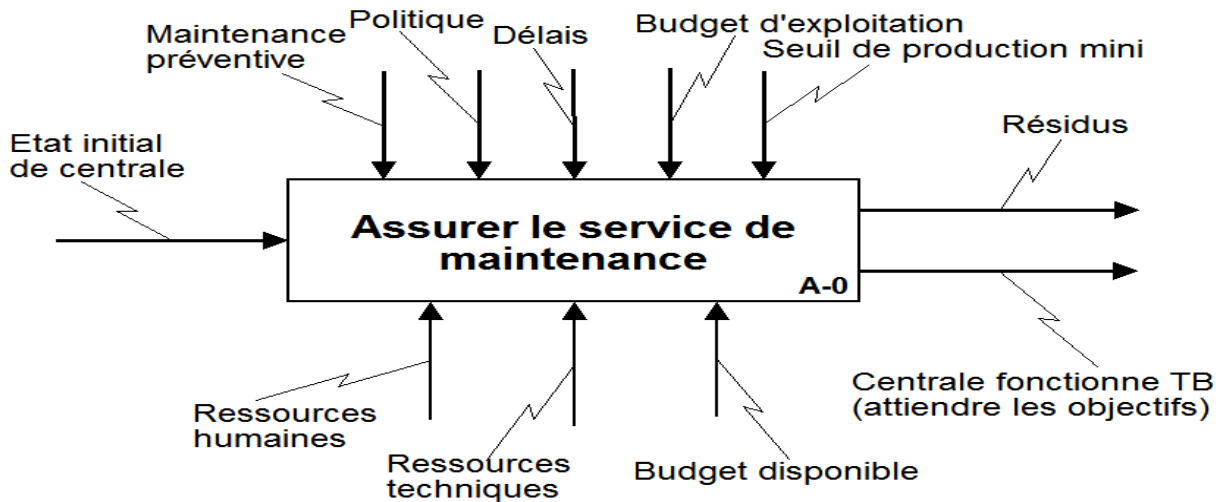


Figure II.14. Modèle SADT de centrale thermique - Diagramme A-0

### Diagramme A0

Le diagramme A0 modélise les activités principales du service de maintenance. Ce diagramme contient quatre activités qui présentent l'organisation du service de maintenance, la mise en œuvre de l'activité de maintenance, le suivi des résultats et l'amélioration des performances.

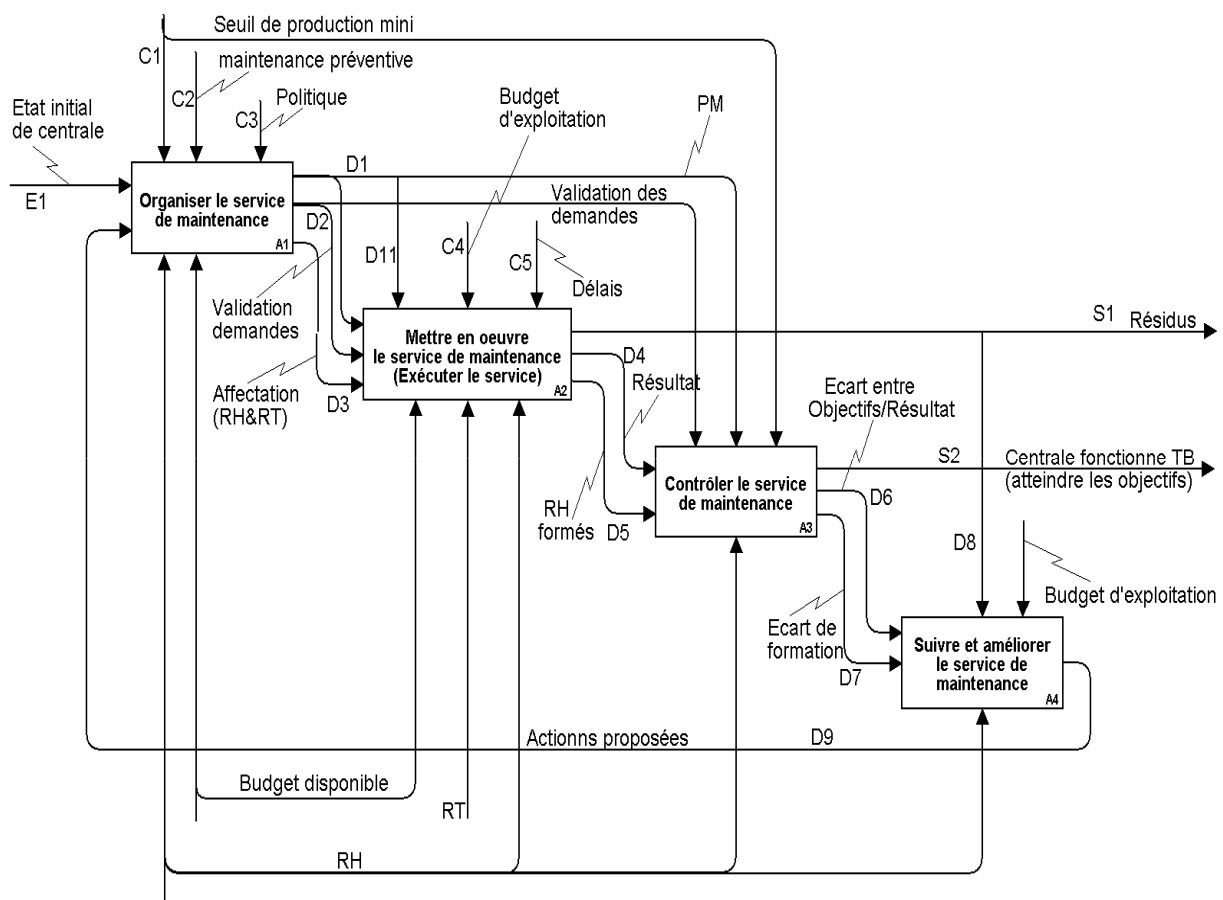


Figure II.15. Modèle SADT de centrale thermique - Diagramme A0

### Diagramme A1

Le diagramme A1 présente l'organisation du service de maintenance composé à son tour de trois activités : 1) planifier les actions de maintenance 2) définir et allouer les ressources humaines et techniques et 3) définir les dépenses.

De plus, quand on détermine l'état initial de la centrale qui indique toutes les informations actuelles de la centrale (quantité, position dans la maintenance préventive, état des composants, ...etc.). En même temps, on envoie des informations pour commencer l'activité définir et allouer les ressources humaines et techniques. Le programme de maintenance défini prend en compte le seuil de production mini. Le résultat de cette étape est l'affectation des ressources humaines et techniques, des demandes d'achat pour les composants manquants et des demandes de formation pour les ressources humaines. En revanche, avant de mettre en œuvre ces demandes, il faut définir les dépenses.

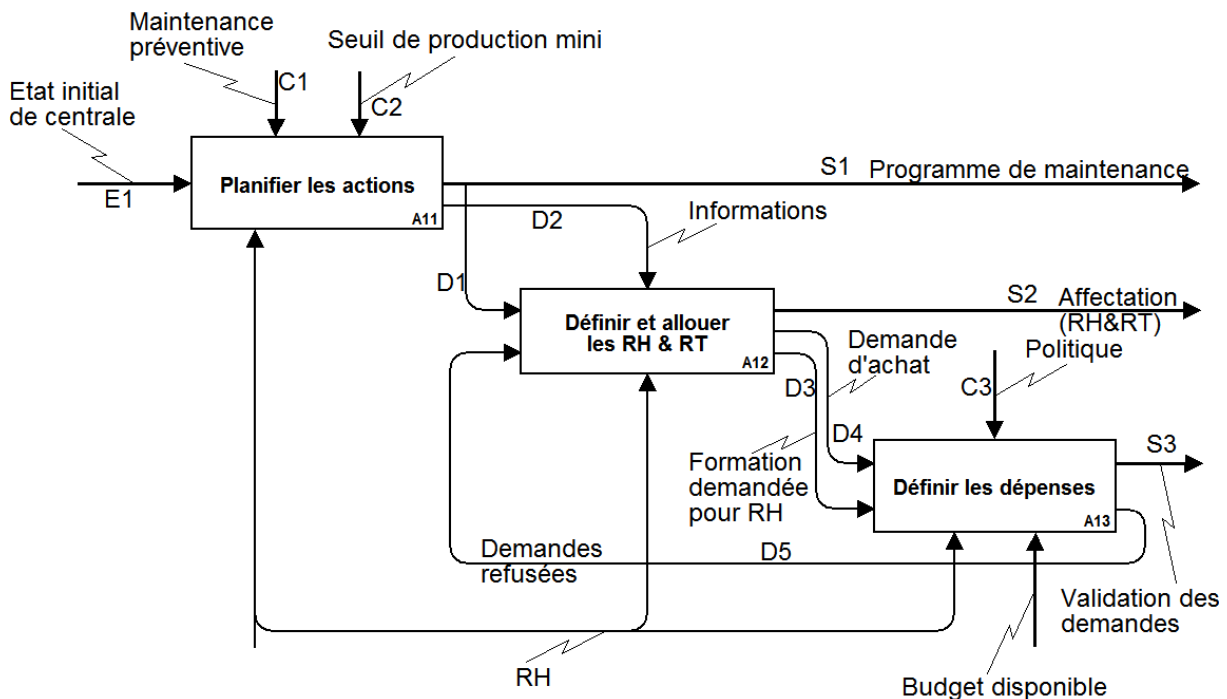


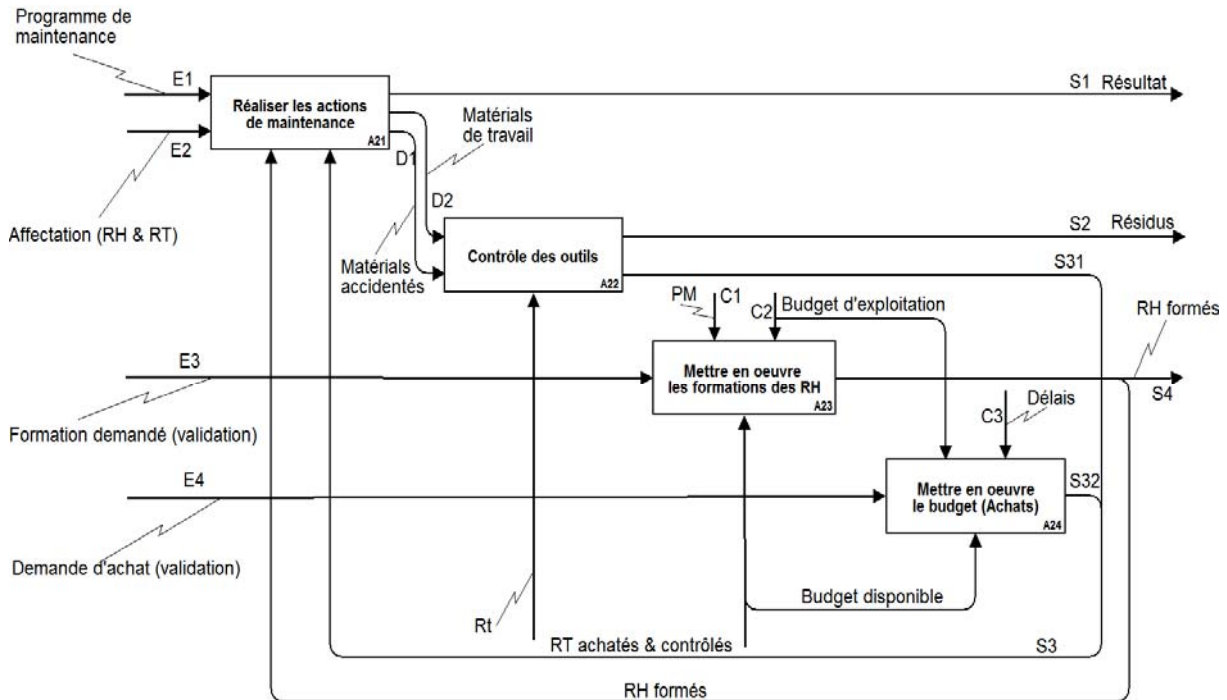
Figure II.16. Modèle SADT de centrale thermique - Diagramme A1

### Diagramme A2

Ce diagramme explique la mise en œuvre du service de maintenance (exécuter). Il contient quatre boîtes. En utilisant le programme de maintenance comme donnée d'entrée, le seuil de production mini comme contrainte de contrôle, le résultat sera la réalisation de la maintenance, autrement dit, un nouveau état de la centrale. Une autre donnée de sortie de cette activité est l'état des outils employés pour effectuer les opérations de maintenance. Ces outils doivent être vérifiés afin d'être prêts pour une nouvelle intervention. Les résidus désignent les déchets générés par l'activité de maintenance.

On exécute l'activité de mise en œuvre de la formation des ressources humaines, suite à l'affectation des ressources et à la validation des demandes de formation. Cette activité est contrainte par le budget d'exploitation de la centrale. Le résultat de cette activité est représenté par des ressources humaines formées qui permettront d'obtenir le niveau de qualité du travail demandé.

Enfin, la dernière activité est la mise en œuvre d'achats. Cette activité est déclenchée par les demandes d'achat. Le résultat est la disponibilité des ressources techniques. Les contraintes sont le budget d'exploitation et le délai d'achat.



Rt= les ressources techniques dans l'atelier d'inspection

Figure II.17. Modèle SADT de centrale thermique - Diagramme A2

### Diagramme A3

Le diagramme A3 présente les activités de contrôle du service de maintenance. Il contient deux cases. La première est le contrôle des actions de maintenance. On prend en compte le nouvel état de la centrale ou la maintenance réalisée comme donnée d'entrée, l'écart entre les objectifs atteints et les résultats obtenus comme information de sortie et le programme de maintenance comme donnée de contrôle.

Cependant, en commençant avec les ressources humaines formées comme entrée pour faire la deuxième activité dans ce diagramme, le contrôle de la qualité de la formation des ressources humaines. Le résultat sera l'écart entre les formations obtenues et les formations prévues. Les contraintes sont la validation des formations prévues et le programme de maintenance.



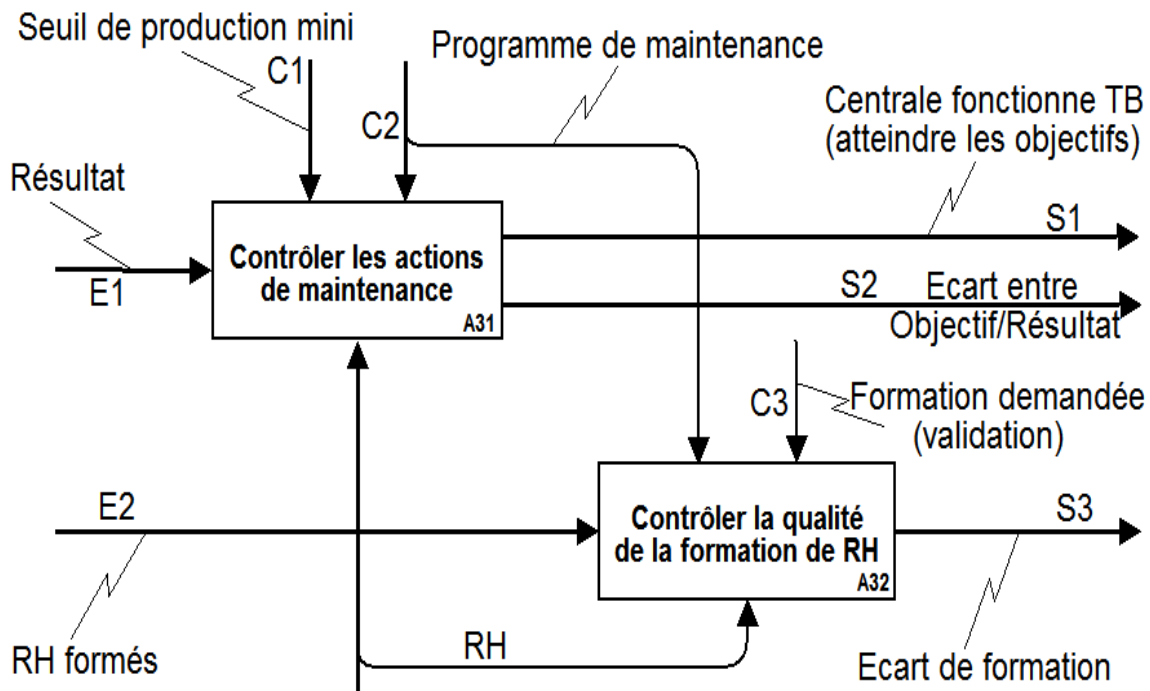


Figure II.18. Modèle SADT de centrale thermique - Diagramme A3

**Diagramme A4**

Ce diagramme explique les activités de suivi et d'amélioration du service de maintenance. La donnée d'entrée de cette activité est l'écart de la formation et l'écart entre Objectifs/Résultat. Nous considérons également les résidus et le budget d'exploitation comme des contraintes pour la proposition des actions correctives. Les données de sortie de cette activité sont les actions correctives et préventives proposées.

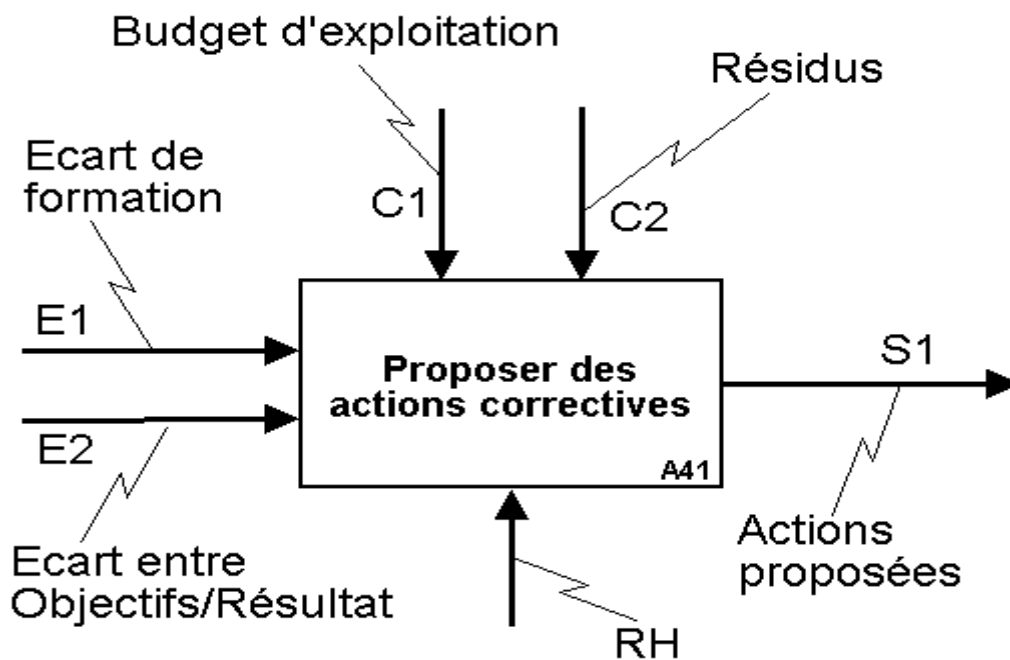


Figure II.19. Modèle SADT de centrale thermique - Diagramme A4

## II.6 Modèle IDEF3

Nous avons présenté le diagramme A2 dans la Figure II.17. La Figure II.20 présente le modèle IDEF3 du diagramme A2. Ce diagramme décrit le flux de contrôle du processus (exécuter le service de maintenance).

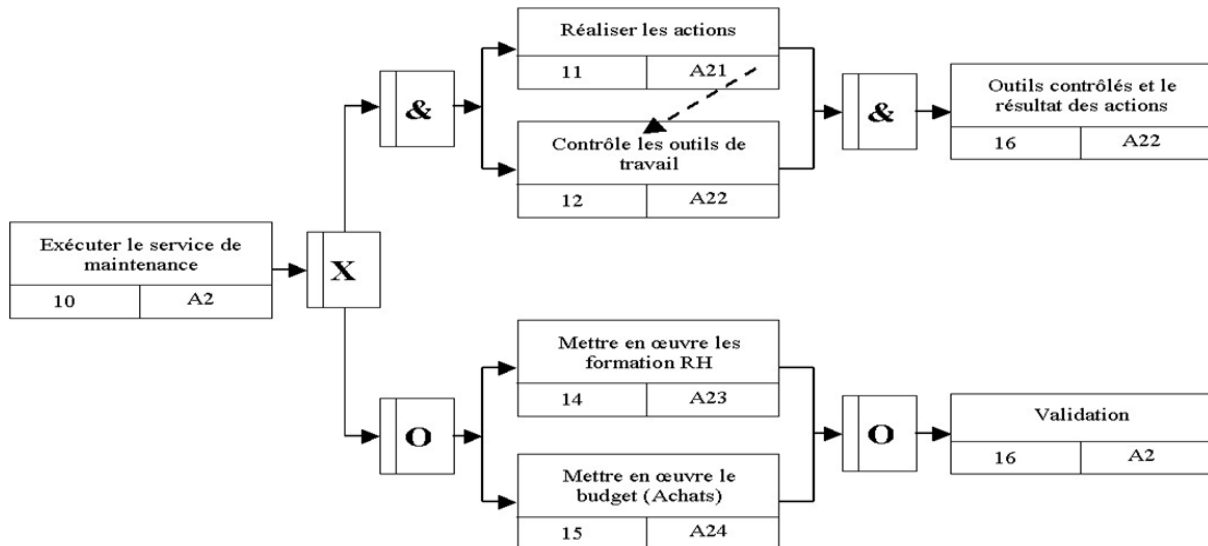


Figure II.20. Modèle IDEF3 du diagramme A2

Ce diagramme explique le processus d'exécution de service de maintenance. Grâce à ce diagramme nous percevons qu'il y a la possibilité de deux décisions pour l'exécution de service de maintenance. La première est de mettre en œuvre les formations des RH et les achats. Nous voyons bien l'utilisation de l'opérateur logique Ou (OR).

La deuxième décision est de réaliser les actions de maintenance et de contrôle des outils de travail. Nous pouvons marquer l'opérateur logique Et (AND). La flèche pointillée modélise la relation ce deux activités [Alahmad, 06a].

## II.7 Conclusion

Nous avons présenté une méthode pour la mise en place d'un système de management de la qualité en respectant la norme ISO 9000/2000. Un système de management de la qualité est un outil de management qui vise à améliorer l'organisation et le fonctionnement d'une entreprise.

Notre méthode consiste de dix étapes suivantes :

1. Préciser la politique qualité et les objectifs qualité de l'entreprise ;
2. Déterminer les processus critiques par rapport aux objectifs qualité ;
3. Déterminer l'efficacité de chaque processus et rechercher des possibilités d'amélioration ;

4. Déterminer les moyens permettant de réduire le nombre de pannes et de non conformités ;
5. Déterminer les risques et choisir les améliorations qui peuvent donner les meilleurs résultats avec un minimum de risques ;
6. Planifier les procédures, les processus et les moyens permettant de mettre en places les améliorations identifiées ;
7. Mettre en œuvre le plan d'actions ;
8. Surveiller des effets des améliorations ;
9. Evaluer les résultats obtenus par rapports aux résultats prévus.
10. S'il y a une révision des objectifs qualité, aller à l'étape 1, sinon aller à l'étape 3.

Nous avons appliqué cette méthode pour le cas du service de maintenance d'une centrale thermique.

Grâce à cette méthode, nous avons réussi à présenter les risques et les contraintes associées. Ainsi, nous avons présenté également une solution pour chaque risque et la manière de mesurer l'efficacité de chaque solution (voir Figure II.8). De plus, nous avons réussi à montrer la séparation entre les risques et les contraintes associées pour faciliter le choix des améliorations et la façon de planifier ces améliorations (voir Figure II.9).

Ensuite, nous avons proposé une approche formelle se basant sur les outils de la famille IDEF. Ces outils permettent une représentation fonctionnelle claire du système, ainsi que de la relation entre les différentes fonctions.

Nous avons utilisé l'approche formelle comme un outil de modélisation grâce aux outils de la famille IDEF, pour un objectif de vérifier la cohérence fonctionnelle du système. De plus, nous avons utilisé cette approche parce qu'il y a des étapes pratiques (étapes 7, 8, 9 et 10) dans notre méthode de mise en place de système de management de la qualité ; ces étapes pratiques ne nous permettent pas de bien valider la réussite de notre méthode. Par conséquent, il est important de disposer d'outils formels pour la vérification du fonctionnement des processus et de la possibilité d'amélioration et de maîtriser des processus.

Enfin, on peut remarquer que le modèle SADT que nous avons proposé pour le service maintenance respecte bien le principe PDCA (voir Figure II.21).

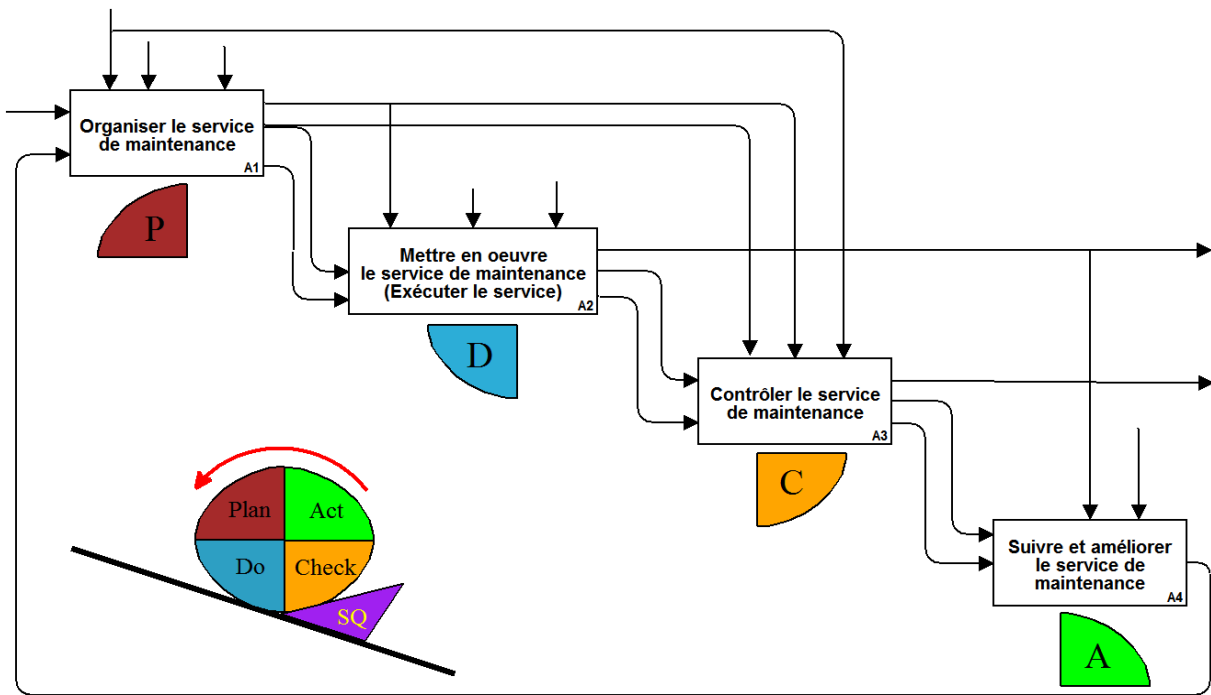


Figure II.21. SADT et Principe PDCA



## **CHAPITRE III**

*Du SADT aux réseaux de Petri*



## ***Chapitre III***

### ***Du SADT aux réseaux de Petri***

Notre travail de recherche concerne la mise en place et le dimensionnement d'un système de management de la qualité. Dans le chapitre précédent nous avons proposé une approche de mise en place d'un système de management de la qualité et nous avons modélisé les fonctionnalités d'un tel système à l'aide de l'outil SADT. Cet outil permet une vue claire des fonctionnalités d'un système ainsi que de leurs interactions. Par contre, il ne permet pas une analyse du comportement dynamique du système. Ainsi, dans ce chapitre, nous proposons d'associer la facilité de modélisation d'une organisation de l'outil SADT à la puissance de modélisation de l'outil réseau de Petri. L'objectif est de détecter des éventuels blocages dans le fonctionnement du système ainsi que l'adéquation des ressources alloués avec les objectifs fixés.

Dans ce chapitre nous proposons une méthode pour construire un réseau de Petri à partir du modèle SADT d'un système de management de la qualité. Par la suite, dans le chapitre 4, nous traiterons l'allocation des ressources dans un système de contrôle qualité de la production.

L'outil SADT a été présenté dans le chapitre précédent. Par conséquent, dans la section suivante nous présentons l'outil réseau de Petri (RdP).

#### ***III.1 L'outil réseaux de Petri***

Les RdP constituent un puissant outil de modélisation et d'analyse pour l'étude des systèmes à événements discrets SED (systèmes de production, protocoles de communication, etc.). Le support mathématique associé à cet outil donne le soutien formel nécessaire pour l'analyse, l'évaluation et la validation des modèles proposés. La représentation graphique d'un réseau de Petri est composée de trois éléments (les places, les transitions et les arcs). Le caractère intuitif et visuel facilite la compréhension de son comportement et permet l'identification visuelle de certaines propriétés de fonctionnement (partage de ressources, synchronisation, ...).

L'utilité des RdP dans le domaine des SED est incontestable car ils permettent une modélisation facile des comportements tels que le parallélisme, la synchronisation, le partage de ressources et le choix. La popularisation de cet outil est une évidence de son utilité. De nombreux auteurs s'en servent pour décrire et analyser les systèmes avec des comportements



asynchrones, distribués, parallèles, non déterministes et stochastiques. Parmi une grande gamme d'applications nous pouvons souligner les systèmes temps réel, la robotique, l'avionique, les réseaux de communication, les systèmes distribués, l'intelligence artificielle, etc.

Le principal inconvénient des RdP est l'explosion combinatoire de l'espace d'état qui peut apparaître lorsque le système à modéliser devient complexe. Dans ce cas sa représentation graphique peut devenir peu lisible [Silveira, 03].

Un système de management de la qualité évolue selon l'arrivée des événements. Les contraintes sur l'occurrence de ces événements peuvent être déterministes ou stochastiques. D'un côté, les contraintes déterministes concernent la mise en place des audits, le suivi des procédures qualité. D'un autre côté, l'aspect stochastique est introduit entre autres par le résultats des contrôles qualité qui ont une influence sur la fréquence du réglage des machines et donc sur la productivité. Par conséquent, nous allons présenter les principales caractéristiques des modèles réseau de Petri autonomes, les réseaux de Petri temporisés et les réseaux de Petri stochastiques. Pour plus de détails les lecteurs sont renvoyés aux documents suivants [Cesare, 93] [Proth, 97] [Camus, 97] [David, 92] [Sava, 01].

### III.1.1 Quelques définitions d'un RdP

Un RdP est un graphe biparti composé de deux types de sommets : les places et les transitions. Les places sont représentées par des cercles et les transitions par des rectangles (par des barres dans quelques ouvrages). Des arcs orientés relient les places aux transitions et les transitions aux places. Un arc ne relie jamais deux sommets de la même nature. Chaque place peut contenir un ou plusieurs jetons appelés marques. Un marquage est un vecteur à composantes entières positives ou nulles, dont la dimension est égale au nombre de places. Chaque élément du vecteur de marquage mémorise le nombre de marques dans la place associée. L'état d'un réseau est défini par le vecteur de marquage.

**Définition 1 :** Un RdP est un 5-uplet  $N = (P, T, A, \text{Pré}, \text{Post})$  :

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  est l'ensemble fini des places ;
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  est l'ensemble fini des transitions ;
- $A \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$  est l'ensemble fini des arcs ;
- $\text{Pré} : P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ ,  $\text{Pré}(p_i, t_j)$  désigne le poids des arcs qui relient la place  $p_i$  à la transition  $t_j$  ;
- $\text{Post} : P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ ,  $\text{Post}(p_i, t_j)$  désigne le poids des arcs qui relient la transition  $t_j$  à la place  $p_i$ .

**Définition 2 :** Un réseau de Petri marqué est un couple  $R=(N, M_0)$  où :

- N est un réseau de Petri ;
- $M_0$  est le marquage initial.

Soit  $\bullet t_j$  et  $t_j^\bullet$  les ensembles des places respectivement d'entrée et de sortie de la transition  $t_j$ . De même, les ensembles  $\bullet p_i$  et  $p_i^\bullet$  désignent les transitions d'entrée et respectivement de sortie de la place  $p_i$ .

Une transition  $t_j$  est validée par un marquage si chacune des places  $p_i \in \bullet t_j$  contient au moins un nombre de marques égal au poids attaché à l'arc reliant  $p_i$  à  $t_j$ . Plus formellement, une transition  $t_j$  est franchissable à partir d'un marquage  $M$  si, et seulement si,  $M(p) \geq \text{Pré}(p_i, t_j)$ ,  $\forall p \in \bullet t_j$ , où  $M(p)$  est le marquage de la place  $p$ .

Une transition validée peut être franchie. Le franchissement d'une transition est une opération instantanée. Le franchissement d'une transition  $t_j$  consiste à retirer  $\text{Pré}(p_i, t_j)$  marques de chaque place  $p_i \in \bullet t_j$  et à ajouter  $\text{Post}(p_k, t_j)$  marques dans chaque place  $p_k \in t_j^\bullet$ .

Le franchissement d'une transition franchissable à partir d'un marquage  $M$  conduit à un nouveau marquage  $M'$ . Le franchissement successif des transitions est appelé séquence de franchissement.

Un marquage  $M$  est dit atteignable à partir du marquage initial  $M_0$  s'il existe une séquence de franchissement transformant  $M_0$  en  $M$ .

L'évolution du marquage d'un réseau de Petri peut être décrite à travers l'équation fondamentale des réseaux de Petri :

$$M = M_0 + W \sigma$$

Où  $\sigma$  est une séquence de transitions franchissables transformant  $M_0$  en  $M$ , et  $W(p_i, t_j) = \text{Post}(p_i, t_j) - \text{Pré}(p_i, t_j)$  représente la matrice d'incidence du réseau de Petri.

Une transition source est une transition sans place d'entrée, elle est toujours franchissable. Une transition puit est une transition sans place de sortie.

Nous allons illustrer ces deux types de transition à l'aide de la Figure III.1. Dans la Figure III.1,  $T_1$  est une transition source et  $T_5$  est une transition puit. Le marquage initial de cet exemple est  $M_0 = [2, 1, 0, 1]$ .

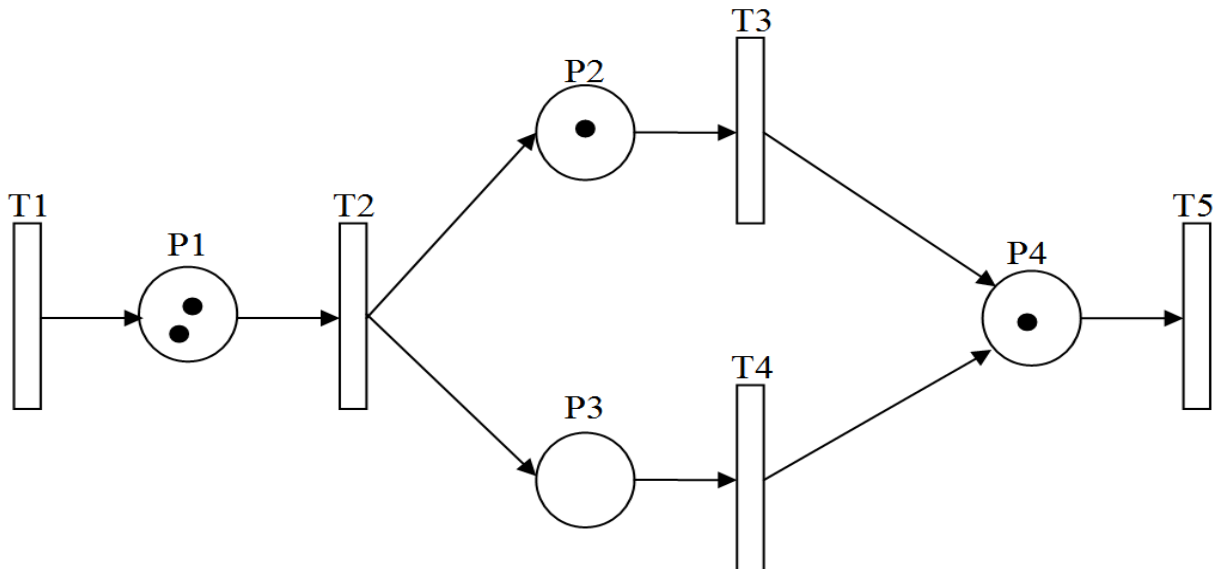


Figure III.1. Transition de puit et de source

Un circuit élémentaire est un chemin qui part d'un sommet (place ou transition) du RdP et y revient sans jamais rencontrer plus d'une fois le même sommet.

Dans les RdP ordinaires, on identifie deux structures particulièrement importantes : les verrous et les trappes. Un verrou, aussi appelé siphon, est un ensemble  $P_s$  de places où toute transition, qui a une place de sortie dans  $P_s$ , a au moins une place d'entrée dans  $P_s$ . Une trappe est un ensemble  $P_t$  de places où toute transition, qui a une place d'entrée dans  $P_t$ , a au moins une place de sortie dans  $P_t$ . Soit  $A(N, M_0)$  l'ensemble de marquages atteignables d'un réseau de Petri  $N$ , par rapport au marquage initial  $M_0$ .

**Définition 3 :** Un RdP est vivant si, et seulement si,  $\forall M \in A(R, M_0)$  il existe une séquence de transitions franchissables à partir de  $M$  contenant toutes les transitions.

**Définition 4 :** Un RdP est réversible si, et seulement si  $\forall M \in A(R, M_0)$  il existe une séquence de transitions transformant  $M$  en  $M_0$ .

**Définition 5 :** Un RdP est borné si, et seulement s'il existe un nombre  $k > 0$  tel que,  $\forall M \in A(R, M_0) M(p) \leq k$ .

### III.1.2 RdP Temporisés

Il existe dans la littérature, plusieurs modèles de RdP temporisés. L'utilisation de la temporisation et sa localisation dépendent de l'application. Lorsqu'on associe la temporisation aux transitions, on obtient un RdP T-temporisé [Ramchandani, 74]. Lorsque la temporisation est associée aux places, les RdP deviennent des RdP P-temporisés [Sifakis, 78].

Dans nos travaux, nous utilisons des réseaux de Petri avec des contraintes temporelles associées aux transitions. Une transition peut être franchie si elle est restée validée sans interruption par le marquage des places au moins une durée égale à la temporisation associée.

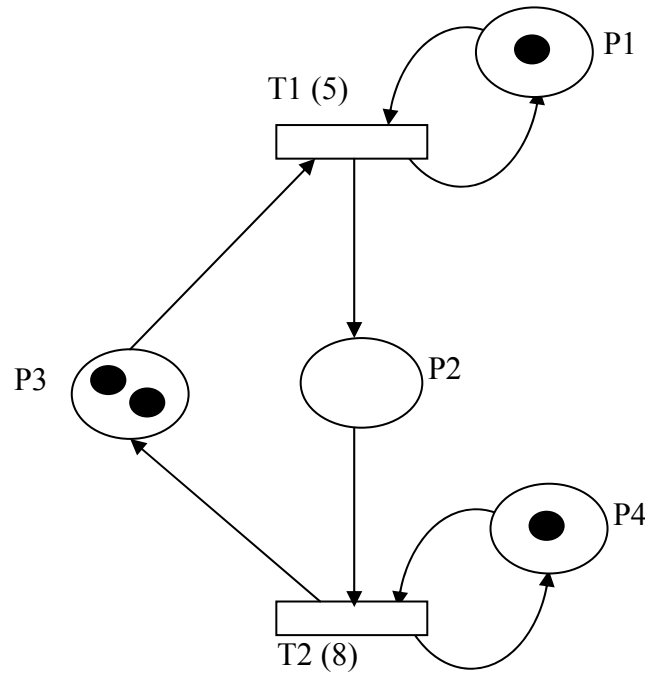


Figure III.2. RdP temporisé

Dans les RdP T-temporisés, on associe une durée aux transitions. Les jetons ont un temps de séjour minimal dans chaque place et, pendant ce temps, les jetons ne peuvent pas être utilisés pour le franchissement des transitions. La Figure III.2 présente un RdP temporisé où nous avons ajouté un temps égal à cinq pour la transition  $T_1$  et un temps égal à huit pour la transition  $T_2$ , nous pouvons traduire ce temps dans le système de production comme le temps nécessaire pour la machine pour réaliser le produit.

### III.1.3 RdP stochastique

Les RdP stochastiques sont des réseaux de Petri pour lesquels le franchissement de certaines transitions est conditionné par des variables aléatoires.

Nous allons utiliser le même réseau présentant dans la Figure III.2, mais le franchissement de  $T_2$  selon une variable aléatoire ( $x$ ), en sachant que nous appelons RdP stochastique tout RdP dont au moins une des transitions a une temporisation stochastique (Figure III.3).

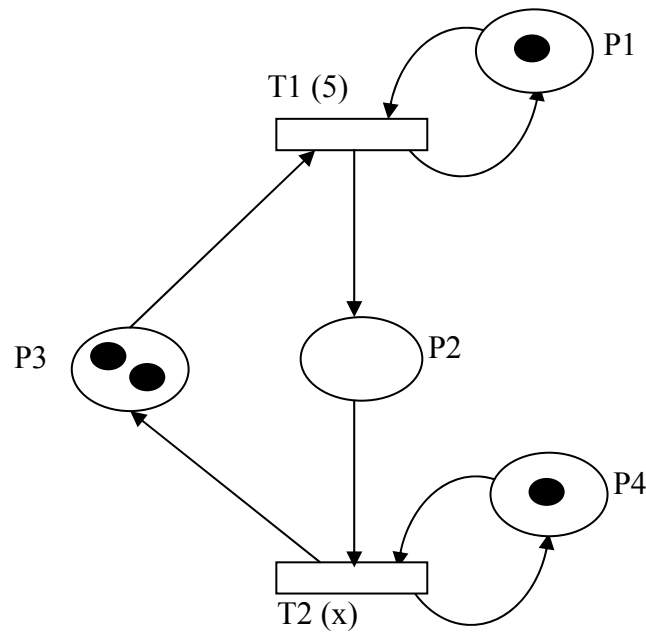


Figure III.3. RdP stochastique

Dans la littérature, les lois de variables aléatoires les plus utilisées sont les lois suivantes :

1. les variables aléatoires uniformément répartie sur  $[a,b]$  sont présentées comme suit :

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{si } x \in [a,b] \\ 0 & \text{si } x \notin [a,b] \end{cases}$$

2. les variables aléatoires d'Erlang de paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  sont présentées comme suit :

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha) x^{(\alpha-1)} \exp(-x/\beta)} & \text{si } x \geq 0 \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$$

3. les variables aléatoires exponentielles de paramètre  $\lambda$  sont présentées comme suit :

$$f(x) = \begin{cases} \lambda \exp(-\lambda x) & \text{si } x \geq 0 \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$$

### III.2 Passage du IDEF0/SADT aux réseaux de Petri

Dans la littérature, il existe déjà des travaux sur l'association des modèles IDEF0/SADT et RdP. Nous citons quelques approches.

La méthode utilisé dans [Jensen, 90] est basée sur l'annotation du modèle SADT avec des informations décrivant les relations d'entrée/sortie en précisant explicitement la

signification des flèches. Des règles ont été déduites pour construire un RdP coloré associé au modèle SADT annoté. Le réseau de Petri obtenu peut être simulé par un simulateur consacré.

Dans [Jafari, 94] les auteurs ont proposé une méthode basée sur l'utilisation d'un certain nombre de règles de transformation pour construire le RdP autonome associé au modèle SADT. La première étape consiste à bien préciser l'entrée et la sortie de chaque activité. Ensuite, on remplace chaque activité par une structure transition-place-transition. Chaque ressource partagée est représentée par une place avec un jeton. Dans cet article, les auteurs s'intéressent à modéliser les activités parallèles ou en conflit. Ils ont considéré seulement le cas des activités ayant une entrée unique et une sortie unique. Les auteurs ont appliqué leur méthode sur un exemple qui traite un tour avec robot.

La méthode proposée par [Liang, 94] commence par la construction d'un diagramme hiérarchique fonctionnelle représentant le flux de la matière. Puis on construit un autre diagramme pour le flux d'information qui commande le flux de la matière. Les deux diagrammes regroupés donnent un diagramme contrôlable. A partir de ce diagramme on construit le RdP associé.

La méthode utilisée dans [Zaytoon, 97] est dédiée aux systèmes de production. Elle est basée sur l'annotation des flèches de modèle SADT. Ensuite, on construit le RdP à partir du modèle SADT en utilisant des réseaux secondaires correspondant aux éléments du modèle SADT. Les règles utilisées dans cette méthode sont les suivantes: d'abord, on remplace chaque tâche dans le modèle SADT par un RdP composé de deux places et deux transitions (voir Figure III.4). La place (i) représente l'état « non-active » de la tâche. La place (a) représente l'état « active ». Initialement, la place (i) est marquée.

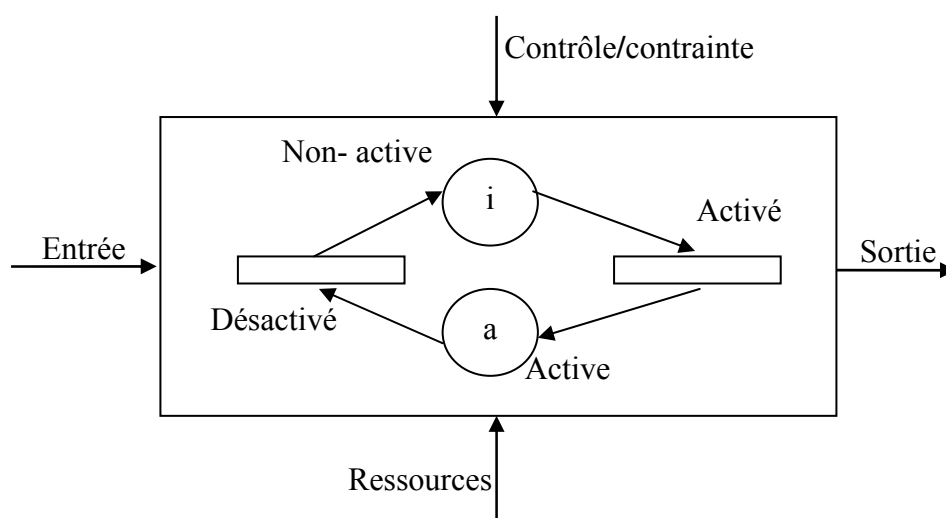


Figure III.4. Représentation d'une tâche

Ensuite, les autres définissent des règles pour décrire les flux (de matière, d'information...) représentés par les flèches du modèle SADT. De plus, selon les auteurs, on trouve sept types de flèches de synchronisation, comme dans la Figure III.5 [Zaytoon, 96].

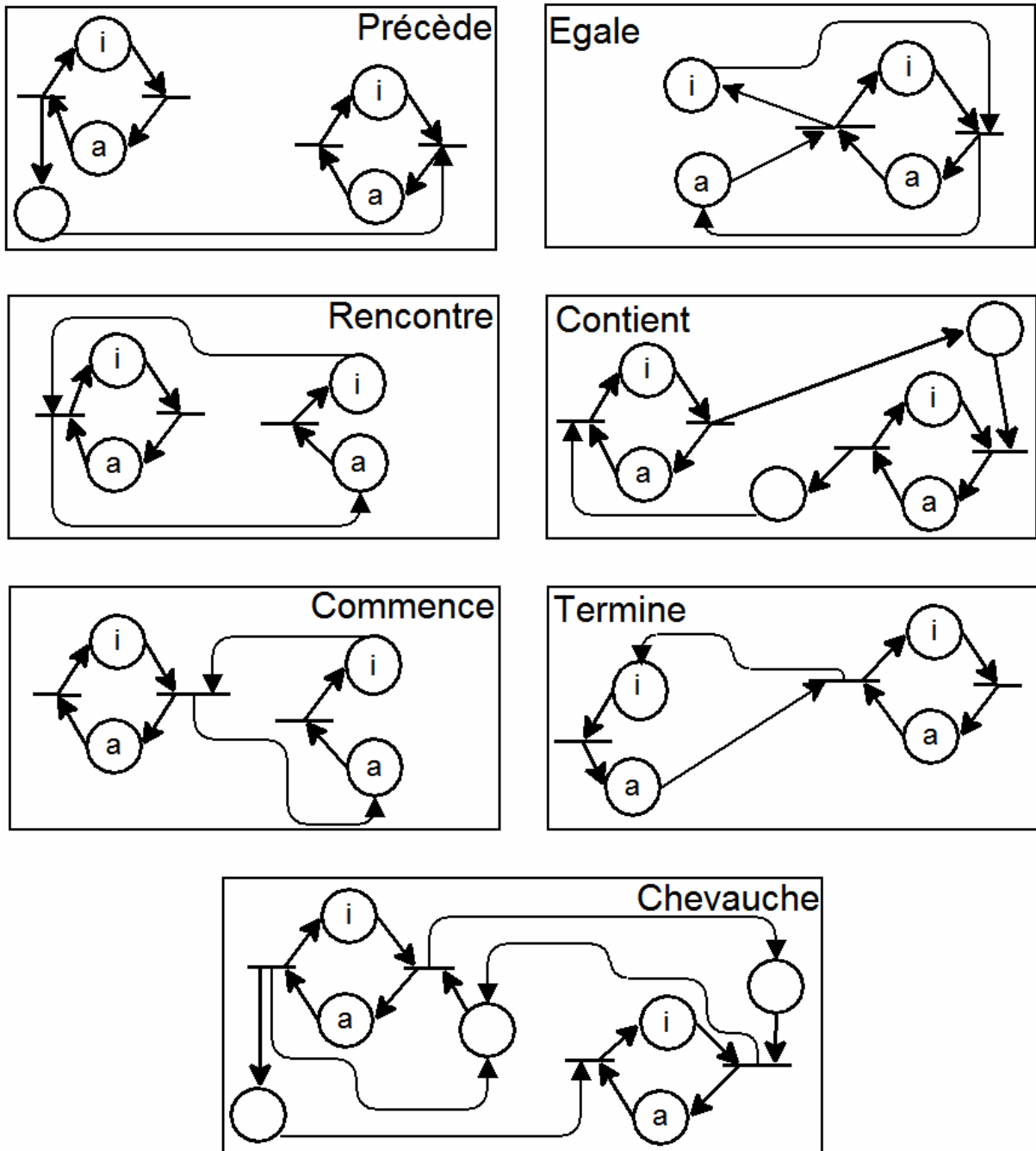


Figure III.5. Flèches de synchronisation

Cependant, Les ressources partagées sont modélisées, selon le principe illustré dans la Figure III.6.

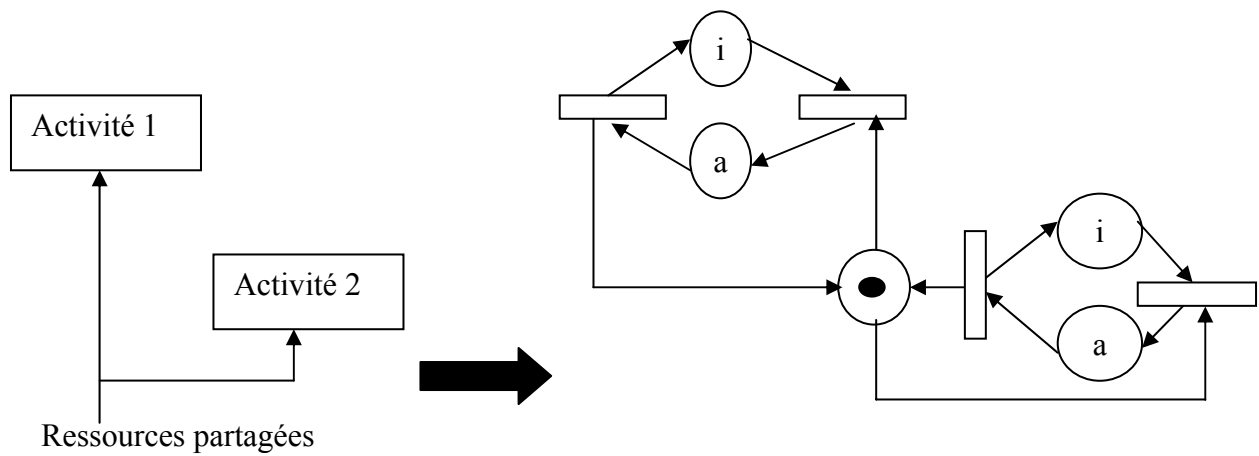


Figure III.6. Modélisation des ressources partagées

A la fin, on ajoute des arcs et des transitions qui représentent les entrées et les sorties externes du modèle SADT.

Une autre approche est présentée dans [Santarek, 97]. Celle-ci se consacre à une méthode et des outils pour contrôler un système de production flexible. Les auteurs ont utilisé la méthode SADT pour étudier les spécifications de systèmes modélisés, les interfaces ou les dynamiques sont réalisées par un certain nombre de règles de transformation des spécifications SADT/IDEF0 dans un RdP. Les auteurs ont considéré que la dynamique des activités est déterminée par deux événements : 1) le déclenchement et 2) la fin de l'activité, pour cela, ils modélisent chaque activité par une structure transition-place-transition. De même, ils ne modélisent que les ressources partagées. Le principe de cette méthode est illustré dans la Figure III.7.

De plus, les auteurs ont expliqué la correspondance entre les éléments des modèles SADT et RdP dans le Tableau III.1.

Eléments de SADT/IDEF0	Eléments de RdP
Boîte d'activité	Transition-Place-Transition
Flèche d'entrée	Place
Flèche de sortie	Place
Flèche de contrôle	Place
Flèche de ressource	Place

Tableau III.1. Eléments de SADT et leurs équivalents de RdP selon [Santarek, 97]



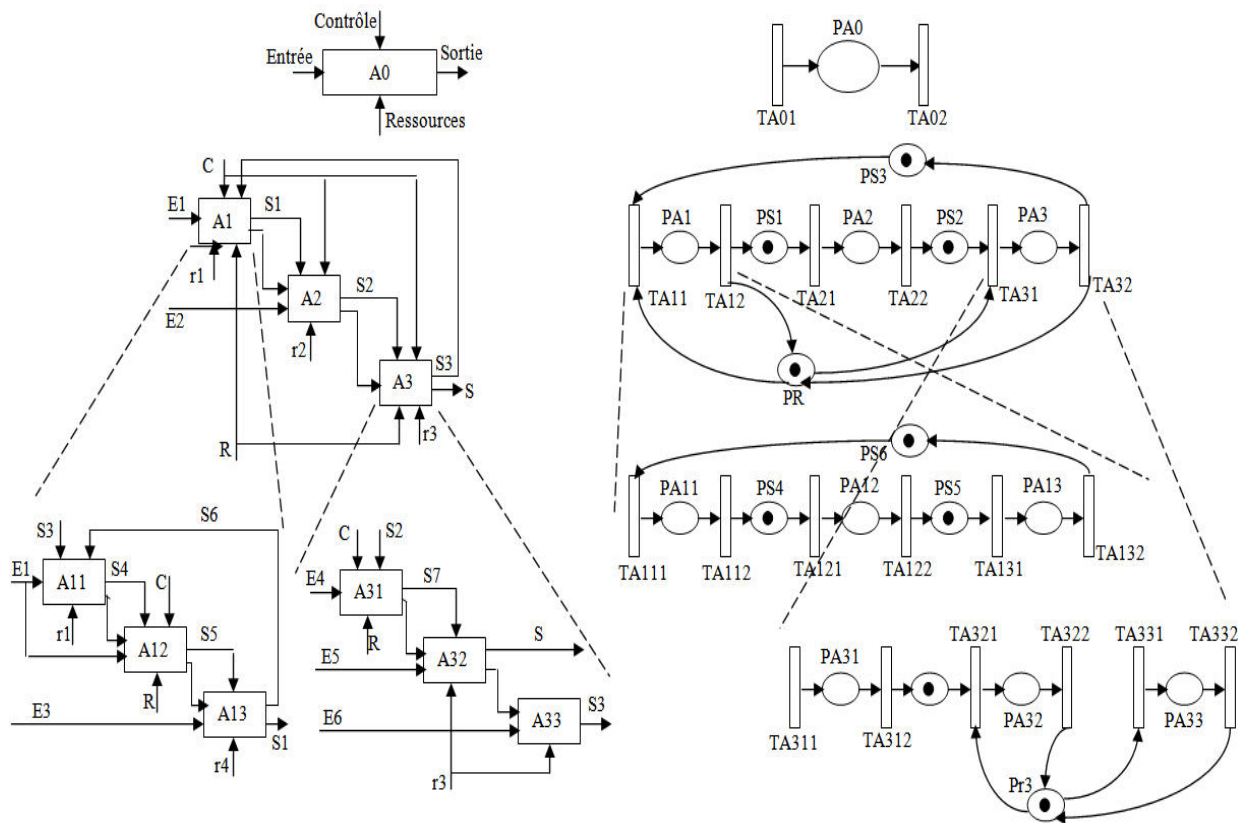


Figure III.7. Diagrammes SADT et les RdP équivalents selon [Santarek, 97]

Ces méthodes sont dédiées aux systèmes de production. Elles visent à représenter la succession des activités, ainsi que les ressources partagées. Cependant, le management d'une entreprise par la qualité se base sur l'existence de ressources propres à chaque activité. De plus, certaines ressources sont consommées par l'exécution de l'activité (par exemple : ressources financières, certaines ressources matérielles). Ces aspects nous ont poussé à proposer une autre méthode de passage d'un modèle IDEF0/SADT à un modèle RdP.

De plus, nous voudrions préciser que les études récentes sur les RdP ont mené à deux domaines principaux de recherches [Estrailier, 96] :



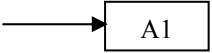
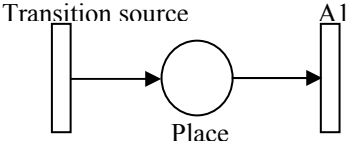
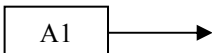
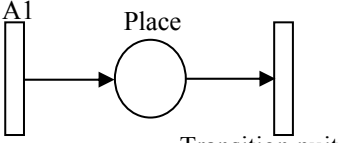
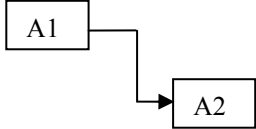
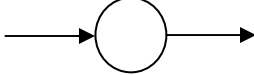
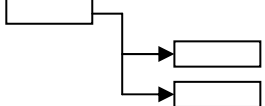
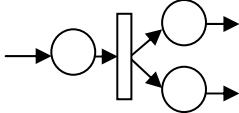
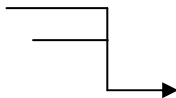
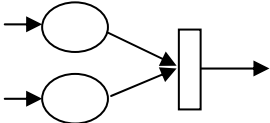
- prolonger des réseaux de Pétri afin d'ajouter des possibilités de modélisation hiérarchiques ou structurantes ;
- associer les réseaux de Pétri avec un autre formalisme qui apporte ses possibilités de structuration.

L'approche que nous proposons pour la construction du réseau de Petri associé à un modèle SADT s'appuie sur les approches présentées tout en intégrant des éléments qui nous permettent de prendre en compte les aspects spécifiques d'un système de management de la qualité.

La première étape de cette approche consiste à définir la signification de chaque activité ainsi que les entrées, les sorties, les contrôles et les ressources.

Ensuite on définit le flux d'information et de matière à travers des flèches. La construction du RdP associé au modèle SADT est effectuée selon les règles données dans la Tableau III.2 [Alahmad, 05b].

Dans notre approche pour établir les RdP à partir de SADT, nous avons utilisé des règles qui sont adaptées avec notre modèle, ces règles sont présentées dans la Tableau III.2.

SADT	RdP
 <p>Activité de SADT</p>	 <p>Transition</p>
 <p>Flèche d'entrée (Entrée de diagramme)</p>	 <p>Transition source Place</p>
 <p>Flèche de sortie (Résultat de diagramme)</p>	 <p>Place Transition puit</p>
 <p>Interface entre les activités</p>	 <p>Flèche Place Flèche</p>
 <p>Divergence d'interfaces</p>	
 <p>Convergence d'interfaces</p>	

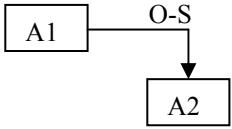
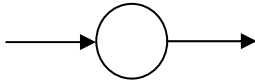
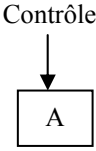
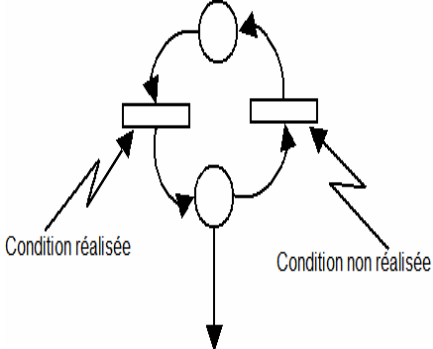
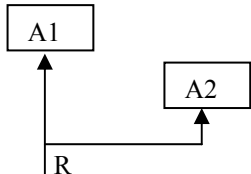
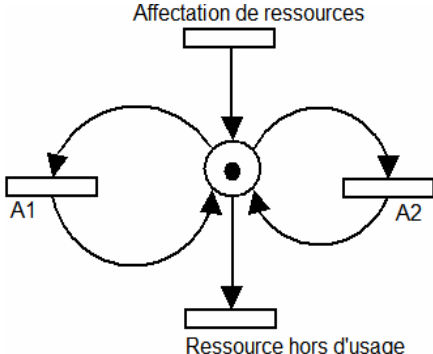
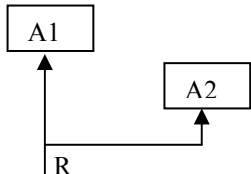
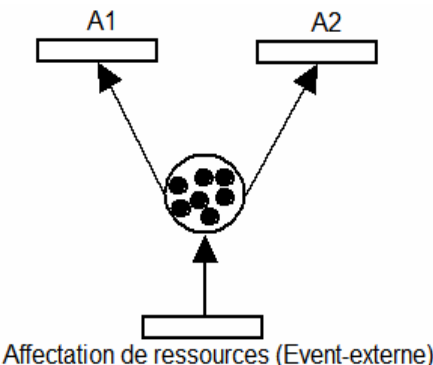
 <p>Contrôle interne</p>	 <p>Flèche Place Flèche</p>
 <p>Contrôle externe</p>	
 <p>Ressources réutilisables</p>	
 <p>Ressources consommables</p>	

Tableau III.2. Règles pour faire le passage de SADT vers RdP

Par rapport aux travaux précédents, nous avons prêté une attention particulière aux éléments supplémentaires nécessaires au fonctionnement d'un système de management de la qualité : Contrôle externes et ressources consommables.

### III.3 Application

Nous avons présenté le modèle SADT dans le chapitre 2, maintenant nous allons utiliser ce modèle pour créer les RdP en prenant en compte les règles présentées dans le Tableau III.2. Tout d'abord, nous allons montrer les étapes pour obtenir le RdP équivalent pour le diagramme A0 dans le modèle SADT, mais aussi pour les autres modèles SADT nous allons présenter seulement les RdP construits selon la méthode que nous proposons dans ce chapitre.

#### RdP équivalent de diagramme A0 dans le modèle SADT

Nous considérons le modèle SADT – diagramme A0 présenté dans le chapitre 2 pour illustrer la construction du RdP équivalent. Dans un premier temps, il faut définir la signification de chaque activité ainsi que les entrées, les sorties, les contrôles et les ressources. Il faut également distinguer les flux des informations et des matières pour faciliter l'interprétation des résultats obtenus par la simulation du RdP. La Figure III.8 présente le modèle SADT pour le diagramme A0 auquel nous avons ajouté une identification de composants.

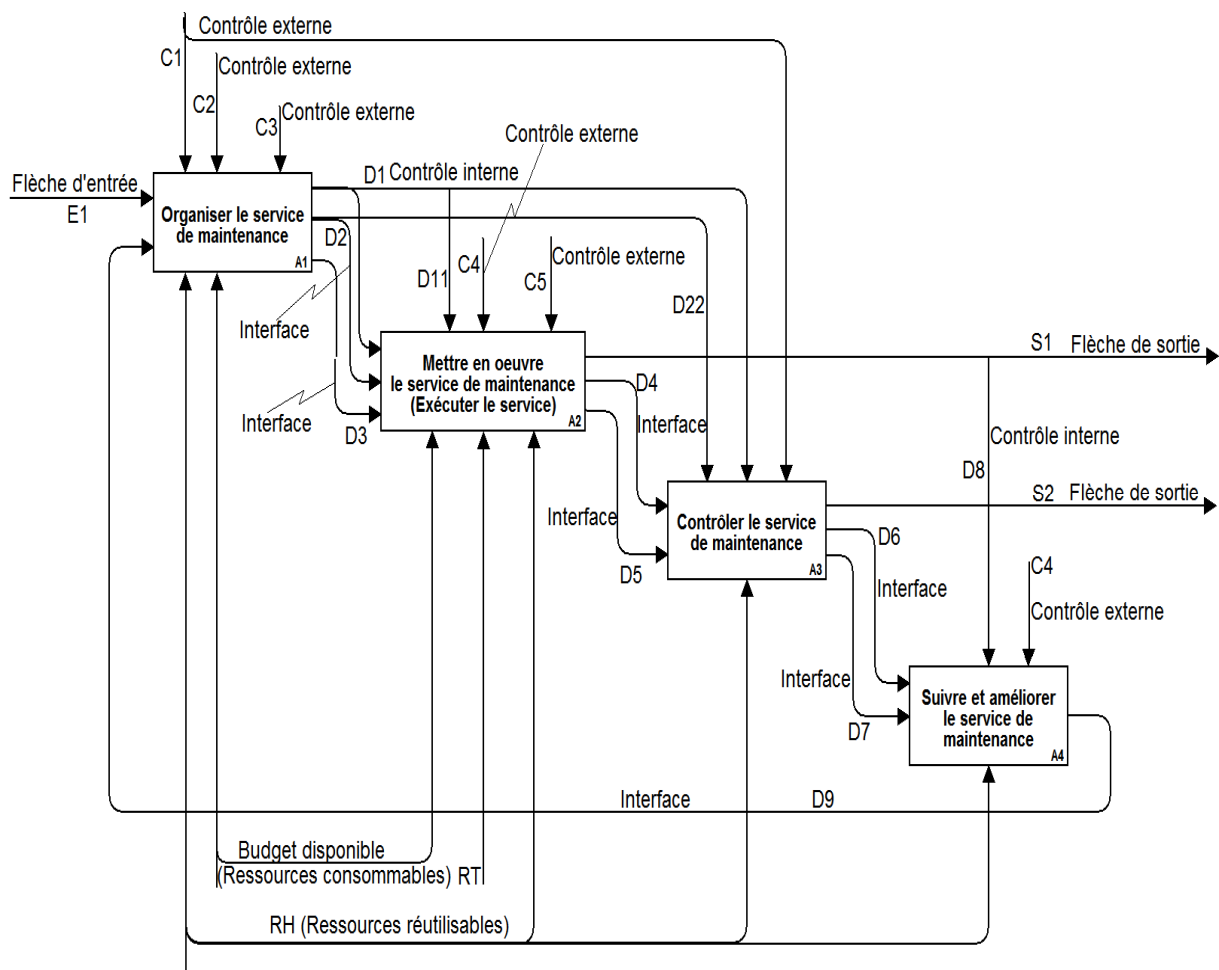


Figure III.8. Modèle SADT - diagramme A0

Elément	Description	Type
E1	Etat initial de centrale	Flèche d'entrée
C1	Seuil de production mini	Contrôle externe
C2	Maintenance préventive	Contrôle externe
C3	Politique	Contrôle externe
C4	Budget d'exploitation	Contrôle externe
C5	Délais	Contrôle externe
D1	Programme de maintenance	Contrôle interne
D2	Validation des demandes	Interface entre les activités
D3	Affectation (RH&RT)	Interface entre les activités
D4	Résultat	Interface entre les activités
D5	RH formés	Interface entre les activités
D6	Ecart entre Objectifs/Résultat	Interface entre les activités
D7	Ecart de formation	Interface entre les activités
D8	Résidus	Contrôle interne
D9	Actions proposées	Interface entre les activités
S1	Résidus	Flèche de sortie
S2	Facture de performance	Flèche de sortie

Tableau III.3. Description les abréviations du diagramme A0

Maintenant, nous allons construire le RdP en utilisant les règles de la Tableau III.2. A partir de la Figure III.8, nous appliquons les règles définies de la manière suivante :

**Activités de SADT** : les activités A1, A2, A3 et A4 dans la Figure III.8 sont représentées par les transitions T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> et T<sub>4</sub> dans la Figure III.12.

**Interfaces entre les activités** : les interfaces entre les activités sont définies par les flèches D3, D4, D5, D6 et D7, nous allons les transformer par la structure Flèche-Place-Flèche. En conséquence nous obtenons les structures RdP suivantes T<sub>1</sub>-P<sub>7</sub>-T<sub>2</sub> pour D3, T<sub>2</sub>-P<sub>10</sub>-T<sub>3</sub> pour D4, T<sub>2</sub>-P<sub>11</sub>-T<sub>3</sub> pour D5, T<sub>3</sub>-P<sub>14</sub>-T<sub>4</sub> pour D6 et T<sub>3</sub>-P<sub>13</sub>-T<sub>4</sub> pour D7.

**Divergence d'interfaces** : les flèches D1-D11 et D2-D22 sont des exemples de ce type d'élément. Nous avons obtenu  $T_1-P_6-T_5-P_{21}-T_3$  et  $T_1-P_6-T_5-P_{22}-T_2$  pour D1-D11. La Figure III.9 montre la transformation pour D2-D22 ( $T_1-P_8-T_6-P_{24}-T_3$  et  $T_1-P_8-T_6-P_{23}-T_2$ ).

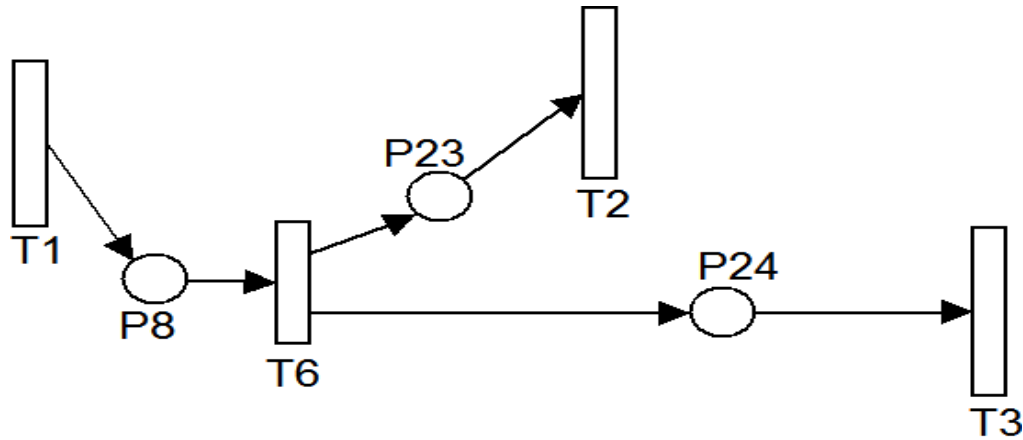


Figure III.9. Exemple de ramification d'interfaces

**Convergence d'interfaces** : nous avons plusieurs exemples de ce type de transformation, nous allons présenter comme exemple la Figure III.10 suivante :

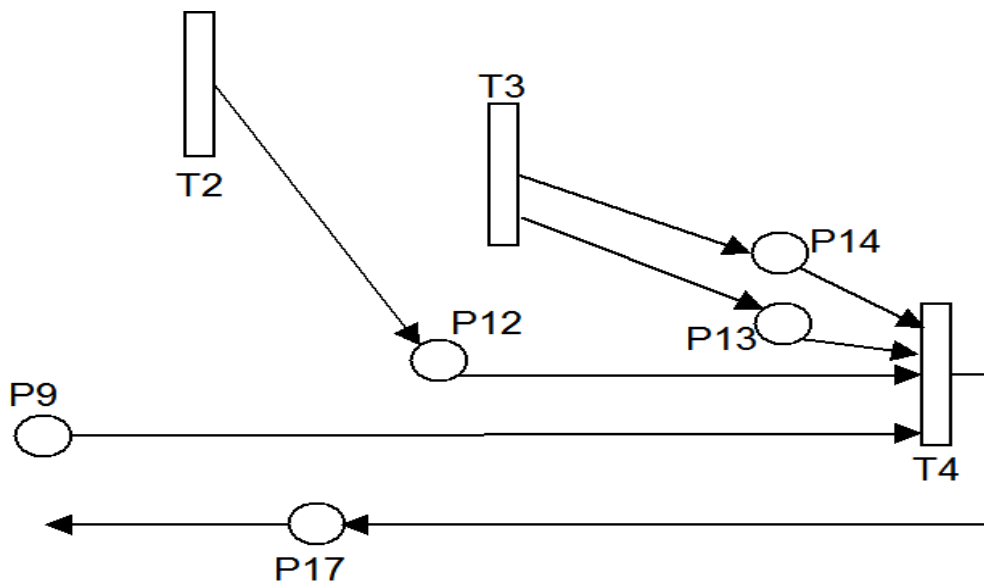


Figure III.10. Exemple de regroupement d'interfaces

**Contrôle interne** : le contrôle interne de chaque flèche sort d'une activité comme une sortie et entre comme un contrôle pour la deuxième activité, nous indiquons la flèche D9 dans la Figure III.8 comme une présentation à ce type de contrôle. Dans la Figure III.10 nous avons traduit ce type par  $T_2-P_{12}-T_4$ .

**Contrôle externe** : le bon exemple de ce type de contrôle est la flèche C1 qui est un contrôle externe. La Figure III.11 présente la règle de transformation de ce type de contrôle.

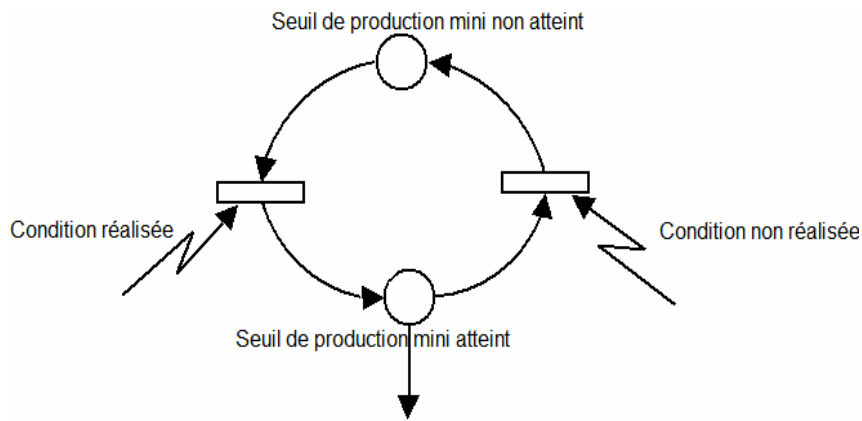


Figure III.11. Contôle externe

**Ressources réutilisables** : les RH sont des ressources réutilisables ( $P_{18}$ ).

**Ressources consommables** : nous considérons le budget comme une ressource consommable. Il est modélisé par la place ( $P_{19}$ ).

**Ressources hors d'usage** : Un exemple de cette ressource est donné par les outils abîmés. Dans le modèle nous les avons représentées par la transition  $T_{21}$ .

En réalisant toutes les étapes suivantes, nous pouvons avoir la Figure III.12 qui présente le RdP équivalent du modèle SADT – diagramme A0.

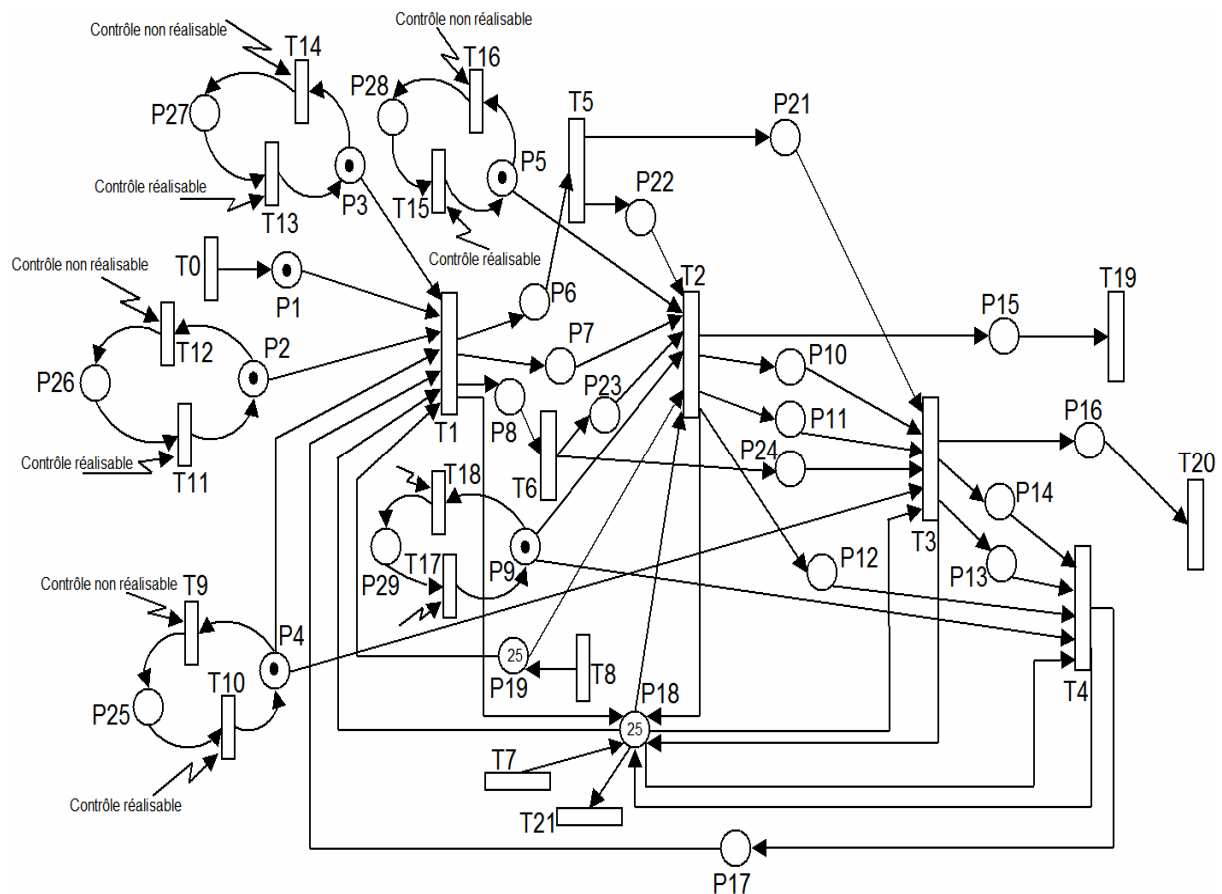


Figure III.12. RdP équivalent de diagramme A0

En réalisant la simulation de la Figure III.12, nous pouvons étudier les aspects dynamiques pour le diagramme A0 du modèle SADT. Par exemple, nous pouvons détecter les blocages générés par les défauts de conception du système ou par le manque de ressources.

**RdP équivalent de diagramme A1 dans le modèle SADT**

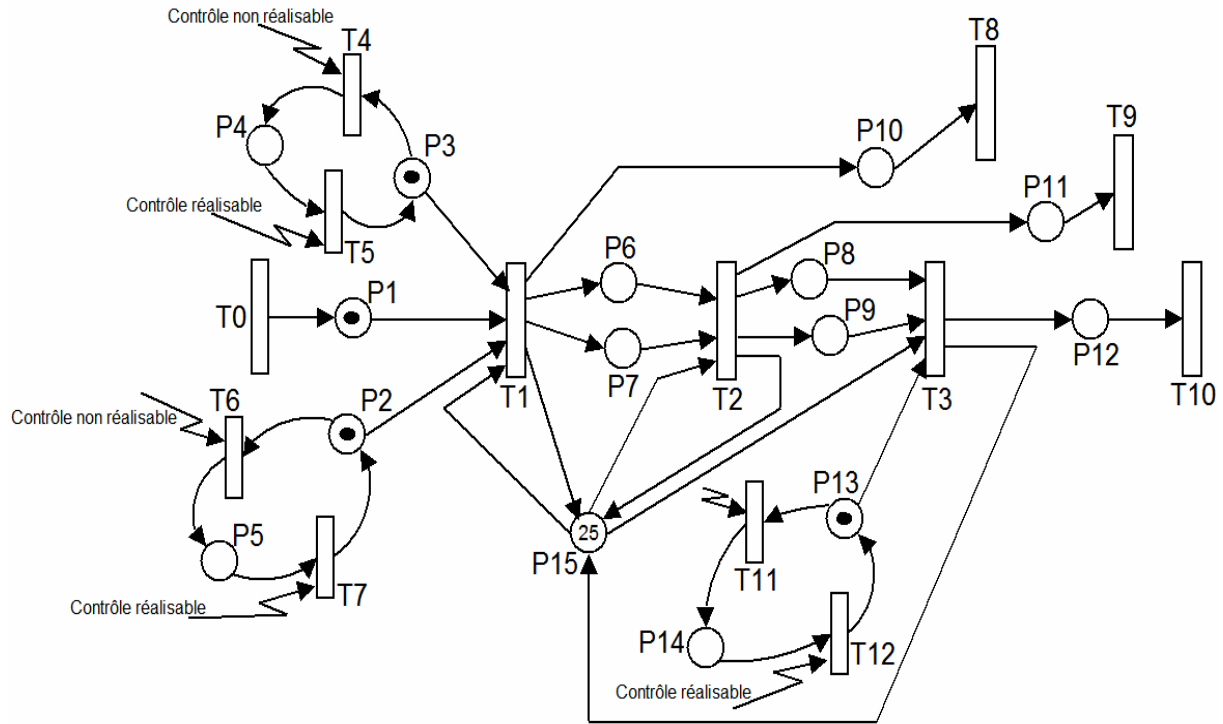


Figure III.13. RdP équivalent de diagramme A1

Elément	Description	Type
E1	Etat initial de centrale	Flèche d'entrée
C1	Maintenance préventive	Contrôle externe
C2	Seuil de production mini	Contrôle externe
C3	Politique	Contrôle externe
S1	Programme de maintenance	Flèche de sortie
S2	Affectation (RH&RT)	Flèche de sortie
S3	Validation des demandes	Flèche de sortie
D1	Programme de maintenance	Interface entre les activités
D2	Informations	Interface entre les activités
D3	Formation demandée pour RH	Interface entre les activités
D4	Demande d'achat	Interface entre les activités

Tableau III.4. Description les abréviations du diagramme A1



RdP équivalent de diagramme A2 dans le modèle SADT

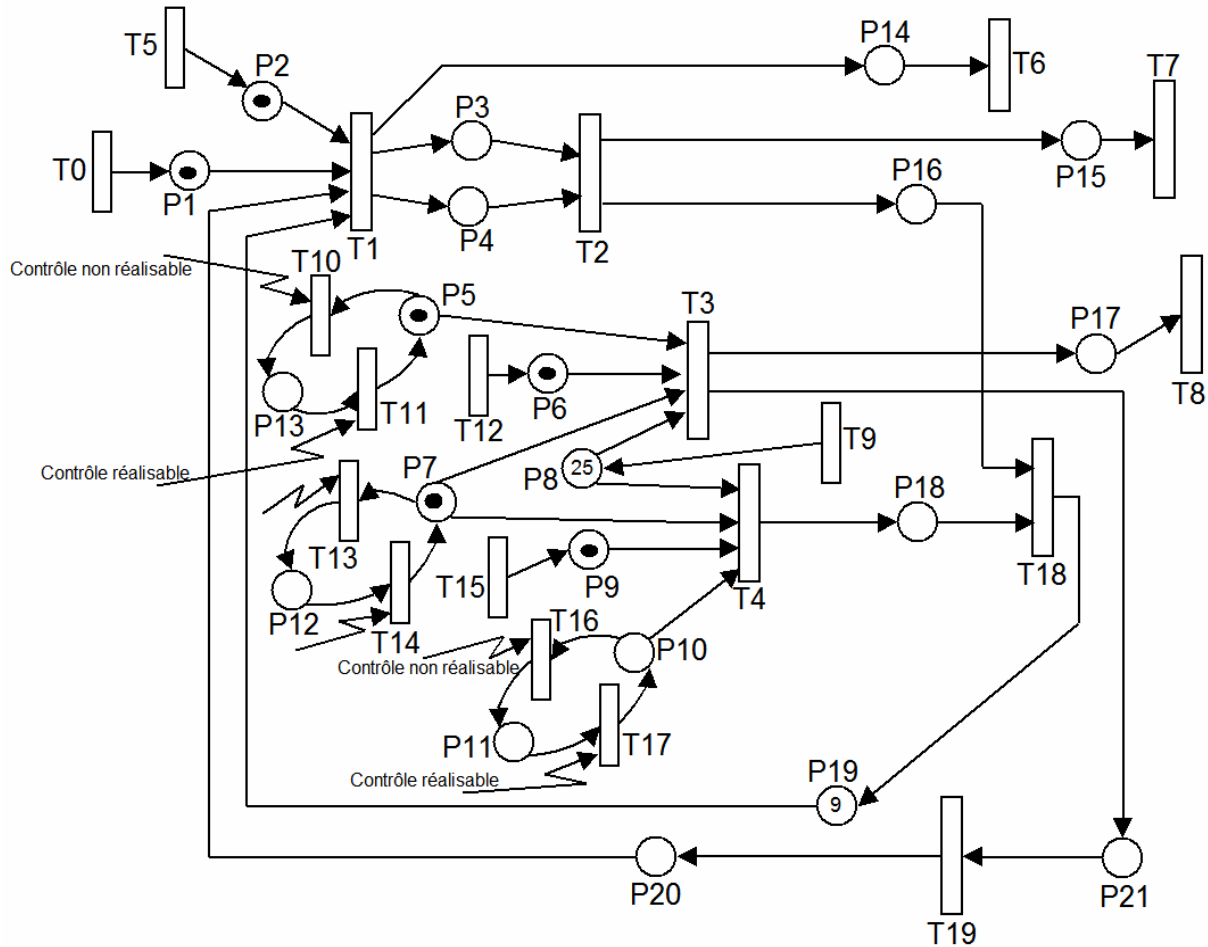


Figure III.14. RdP équivalent de diagramme A2

Élément	Description	Type
E1	Programme de maintenance	Flèche d'entrée
E2	Affectation (RH&RT)	Flèche d'entrée
E3	Formation demandée (validation)	Flèche d'entrée
E4	Demande d'achat (validation)	Flèche d'entrée
C1	Programme de maintenance	Contrôle externe
C2	Budget d'exploitation	Contrôle externe
C3	Délais	Contrôle externe
D1	Matériels accidentés	Interface entre les activités
D2	Matériels de travail	Interface entre les activités
S1	Résultat	Flèche de sortie

S2	Résidus	Flèche de sortie
S3	RT achetés & contrôlés	Interface entre les activités
S4	RH formés	Flèche de sortie

Tableau III.5. Description les abréviations du diagramme A2

### III.4 SADT temporel

Par la suite, nous présentons un autre outil pour étudier les aspects dynamiques d'un système modélisé. Il s'agit d'une extension du modèle SADT appelé SADT temporel. Cet outil permet de modéliser le comportement dynamique grâce à l'utilisation des interfaces pour caractériser les flux des données et informations temporelles.

En sachant que le modèle SADT ne répond pas au besoin suivant [Senechal, 04] :

- La représentation discriminante des flux principaux et flux secondaires relatifs aux processus ;
- La simulation à des fins d'estimation, qui nécessite l'introduction de données et contraintes temporelles que ne permettent pas les formalismes basés sur l'outil SADT.

La construction d'un modèle SADT temporel se base sur les étapes suivantes [Zaytonn, 93] :

1. Utilisation de séquençement et équation d'activation : les équations d'activation sont également utilisées pour permettre l'ordre de suivre l'activation des activités et de décrire les différents chemins suivis par les flux à chaque activation ;
2. Notation des flèches pour la description des comportements des activités : cette étape commence avec la notation et la détermination des types pour chaque flèche dans le modèle SADT afin d'explicitier le rôle des différents flux de production. La flèche peut être soit un flux de matière soit un flux d'information, de plus, il faut préciser que le flux d'information représente soit une donnée soit un événement de synchronisation ou d'inhibition ;
3. Utilisation d'interfaces typées pour caractériser les flux de production : nous avons ici deux types d'interfaces ; les interfaces qui expliquent les règles de visualisation les types de flèches et les interfaces montrant la représentation graphique du comportement des activités. La Figure III.15 représente les règles de visualisation des types de flèches en sachant que nous nous appuyons sur les notations des flèches proposées dans l'étape précédente pour déterminer la forme des flèches correspondantes dans le modèle SADT temporel.

Annotation de flèches		Visualisation graphique
Type	Relation	
Données		
Event-inhibition		
Matière	Non-déclenchante	
	déclenchante	
Event-synchronisation	Précède	
	Egale	
	Rencontre	
	Chevauche	
	Contient	
	Commence	
	Termine	

Figure III.15. Règles de visualisation des types de flèches [Zaytoon, 93]

Mais la Figure III.16 explique les règles de représentation graphique de comportement des activités en s'appuyant sur les équations d'activation déterminant dans la première étape.

Equation d'activation	Type	
	Toujours	Parfois
sortie ← entrée		
sortie ← contrôle		
← entrée et contrôle		
sortie ← entrée1 et entrée2 et ...		

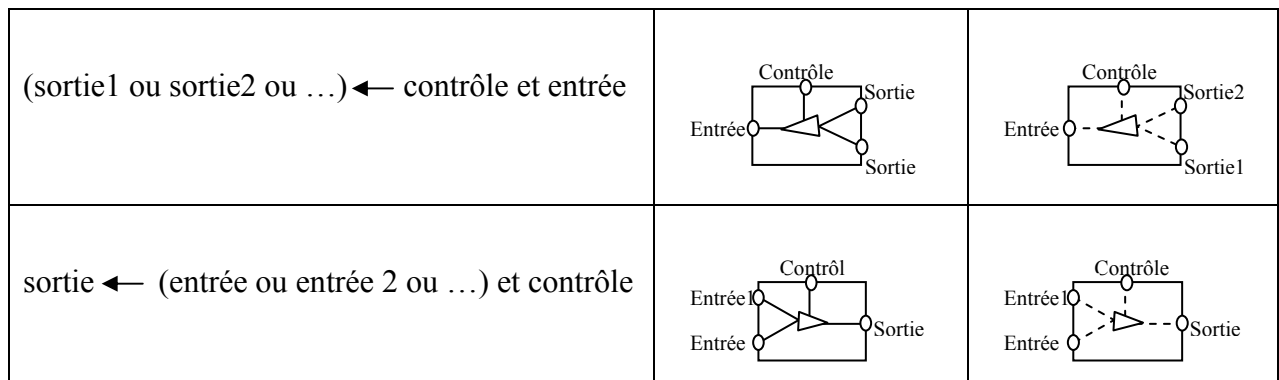


Figure III.16. Règles de représentation graphique de comportement des activités

Par la suite, nous allons présenter les modèles de SADT temporel, dans le premier temps, nous détaillons l'application des différentes étapes pour réaliser le diagramme A0 du modèle SADT temporel. Ensuite, pour les autres modèles SADT temporel, nous proposons juste les résultats finals et les tableaux qui expliquent les comportements des activités.

**Diagramme A0 de modèle SADT temporel**

Nous nous appuyons sur le diagramme A0 du modèle SADT (présenté dans le chapitre précédent voir Figure III.8) pour réaliser le modèle A0 du modèle SADT temporel. Dans le premier temps, nous décrivons les équations d'activation suivantes :

E1C1C2 → D1

E1C2 → D3

E1C3 → D2

D1D3 → D4

D2C4D11 → D5

D4C1D1 → S2

D4D1 → D6

D5D2 → D7

D6D7 D8C4 → D9

Ensuite, nous représentons la description des comportements des activités dans le Tableau III.6 en réalisant la notation des flèches.

Flèche	Type	Relation
E1	Données	
C1	Event-synchronisation	Rencontre

C2	Données	
C3	Event-inhibition	
C4	Event-inhibition	
C5	Event-inhibition	
D1	Données	
D11	Event-synchronisation	Egale
D2	Données	
D3	Données	
D4	Données	
D5	Données	
D6	Données	
D7	Données	
D8	Données	
D9	Données	
S1	Matière	Non-déclenchante
S2	Données	

Tableau III.6. Comportement des activités dans le diagramme A0 du modèle SADT

Finalement, nous avons appliqué les règles utilisées dans la Figure III.15 et la Figure III.16 pour réaliser le diagramme A0 du modèle SADT temporel proposé dans Figure III.17.

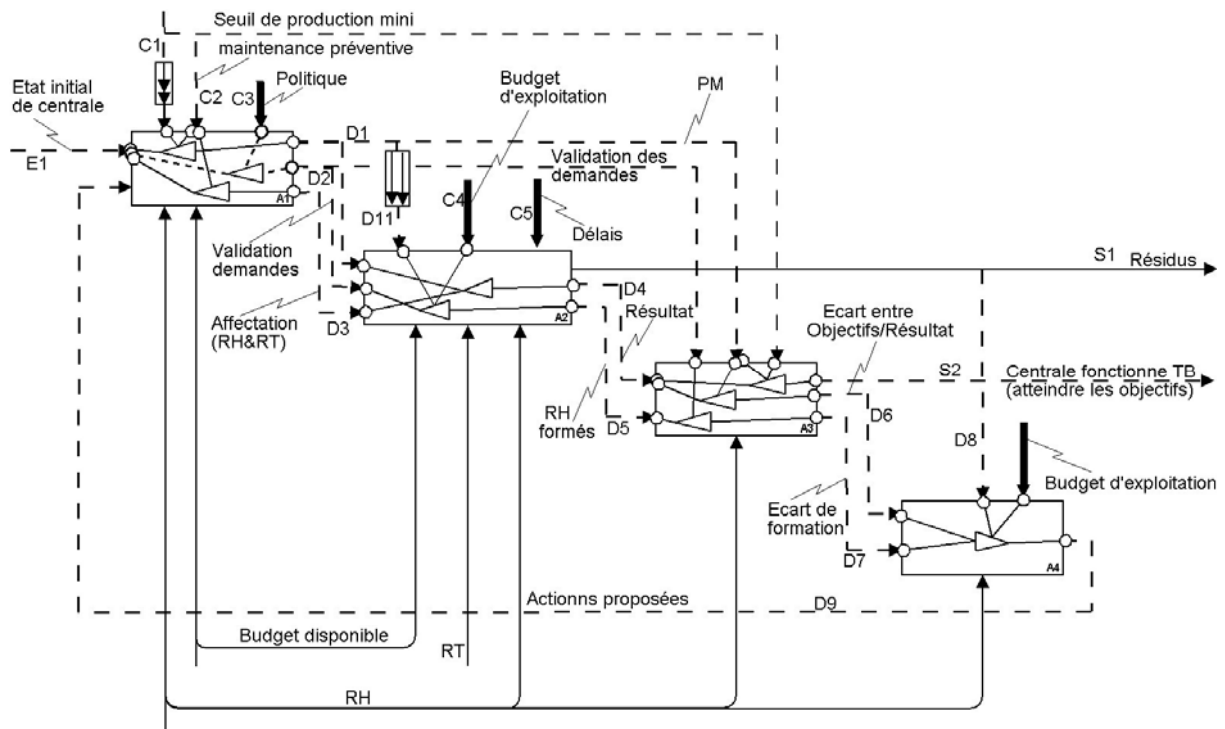


Figure III.17. Modèle SADT temporel - diagramme A0

**Diagramme A1 de modèle SADT temporel**

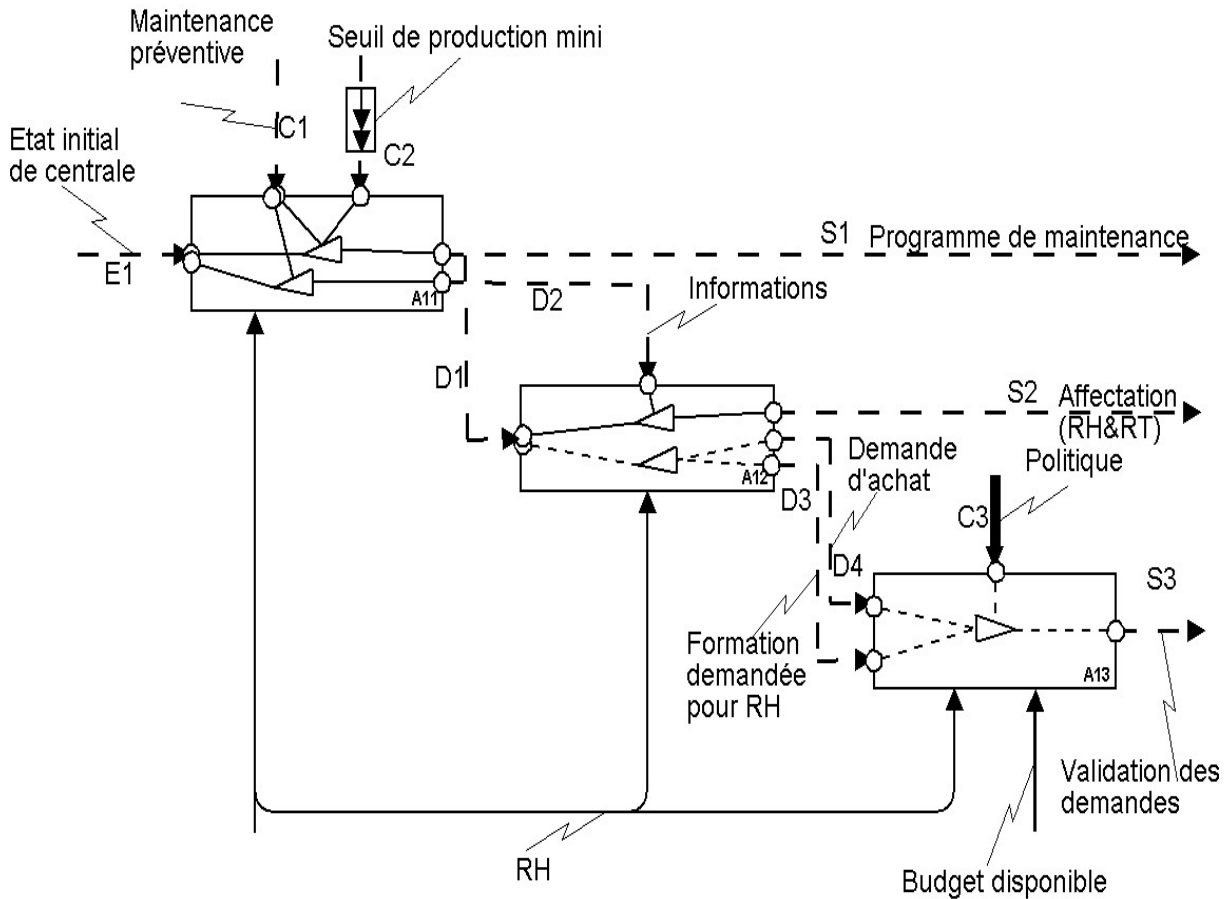
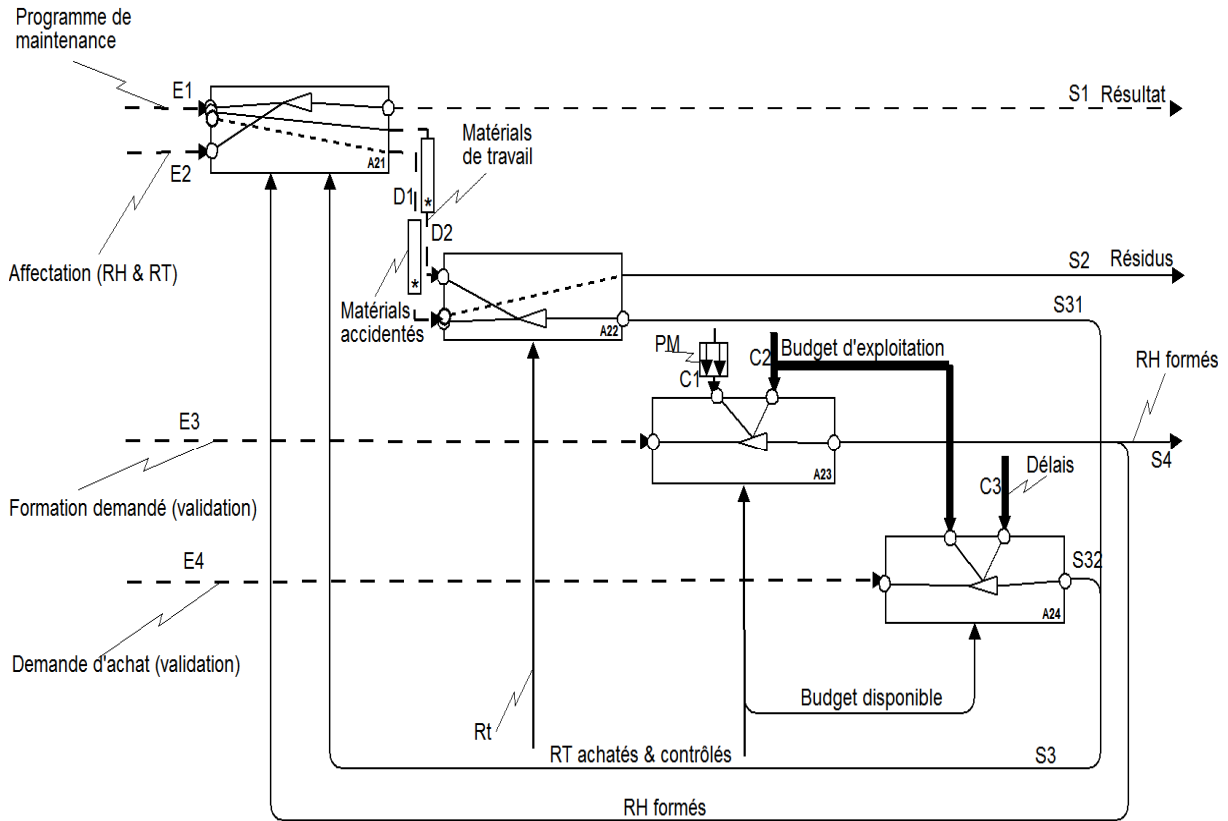


Figure III.18. Modèle SADT temporel - diagramme A1

Flèche	Type	Relation
E1	Données	
C1	Données	
C2	Event-Synchronisation	Rencontre
C3	Event-inhibition	
D1	Données	
D2	Données	
D3	Données	
D4	Données	
S1	Données	
S2	Données	
S3	Données	

Tableau III.7. Comportement des activités dans le diagramme A1 du modèle SADT

**Diagramme A2 de modèle SADT temporel**



Rt= les ressources techniques dans l'atelier d'inspection

Figure III.19. Modèle SADT temporel - diagramme A2

Flèche	Type	Relation
E1	Données	
E2	Données	
E3	Données	
E4	Données	
C1	Event-Synchronisation	Egale
C2	Event-inhibition	
C3	Event-inhibition	
D1	Matière	Déclenchant
D2	Matière	
S1	Données	
S2	Matière	
S3	<b>Ressources</b>	
S4	<b>Ressources</b>	

Tableau III.8. Comportement des activités dans le diagramme A2 du modèle SADT

### III.5 Comparaison

Maintenant, nous proposons une comparaison entre l'association SADT – RdP et le modèle SADT temporel :

- Nous avons construit les deux modèles à partir de modèle SADT,
- Dans les deux modèles nous pouvons suivre les flux de production et les flux d'information par la simulation du modèle, mais les flux d'information sont bien déterminés dans le modèle SADT temporel. De plus, l'outil SADT – RdP est capable de montrer les comportements entre les activités, surtout si nous utilisons la méthode de [Zaytoon, 97] comme dans la Figure III.20 qui montre que l'exécution de réseau de contrôle des outils dépend de la terminaison du premier réseau de réalisation des actions de maintenance.

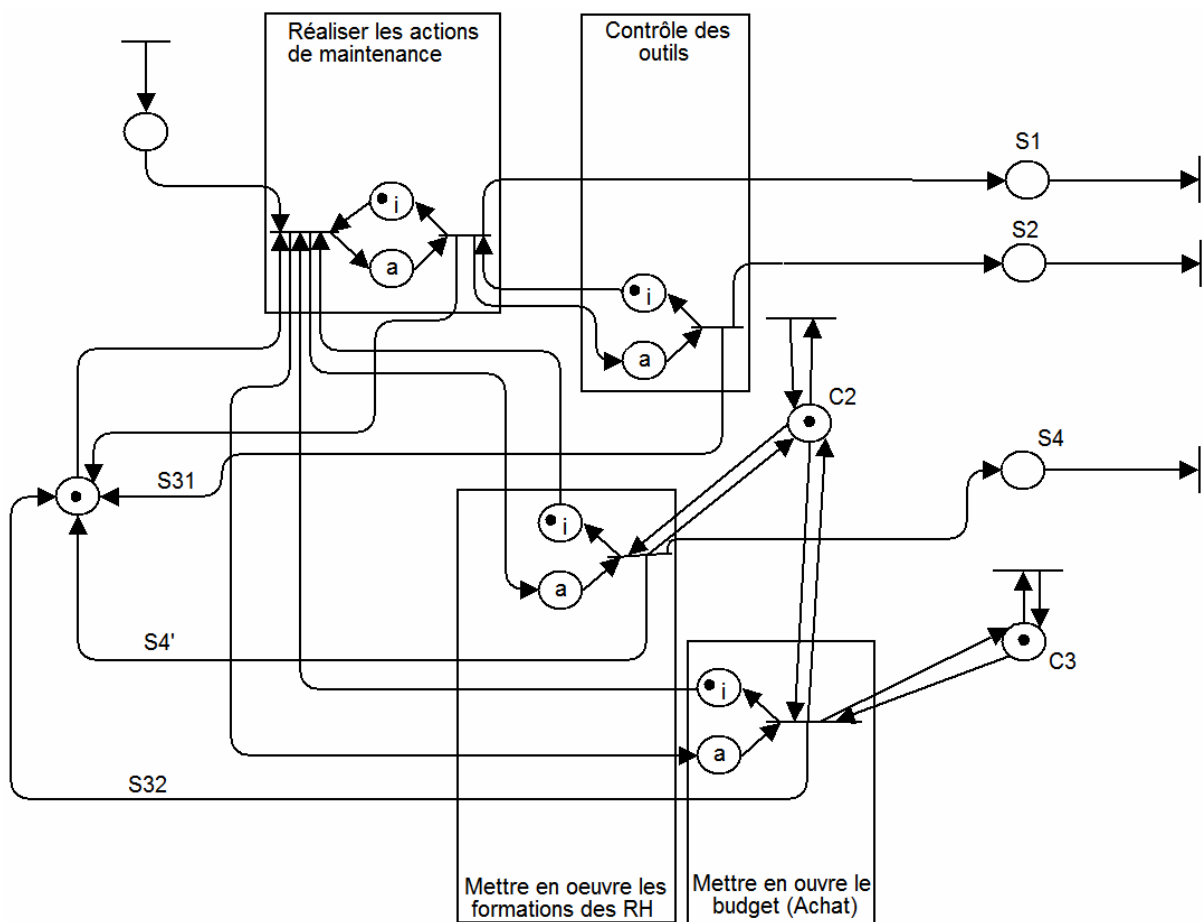


Figure III.20. Comportement entre les activités

- Pour les ressources, l'outil SADT – RdP est plus performant pour modéliser les ressources surtout les ressources partagées, de plus, il est capable de montrer la disponibilité de ressources.
- La distinction entre les entrées, les contrôles et les événements de synchronisation sont plus claires dans le modèle SADT temporel que dans l'outil SADT – RdP.



- Pour faire la simulation de SADT temporel, nous avons besoin de créer un code basé sur le C, C++ ou Smaltalk ... etc. Par contre, il y a plusieurs logiciels pour simuler les RdP.
- Pour l'optimisation, dans les deux modèles, il faut réaliser un algorithme d'optimisation.

Nous disons que le SADT temporel est une extension du modèle SADT pour modéliser les comportements dynamiques du système étudié. Dans ce contexte, nous pouvons proposer un scénario pour utiliser les deux outils : l'outil SADT – RdP et le SADT temporel ensemble pour avoir des bons résultats dans la modélisation et le pilotage de notre système.

Dans ce scénario, nous essayons de profiter les RdP grâce à la facilité de faire la simulation si l'objectif d'étudier les aspects dynamiques est satisfait ; sinon, il faut réaliser le modèle SADT temporel en dépassant les difficultés qui empêchent la satisfaction, mais dans ce cas, nous allons créer un code pour faire la simulation de notre modèle.

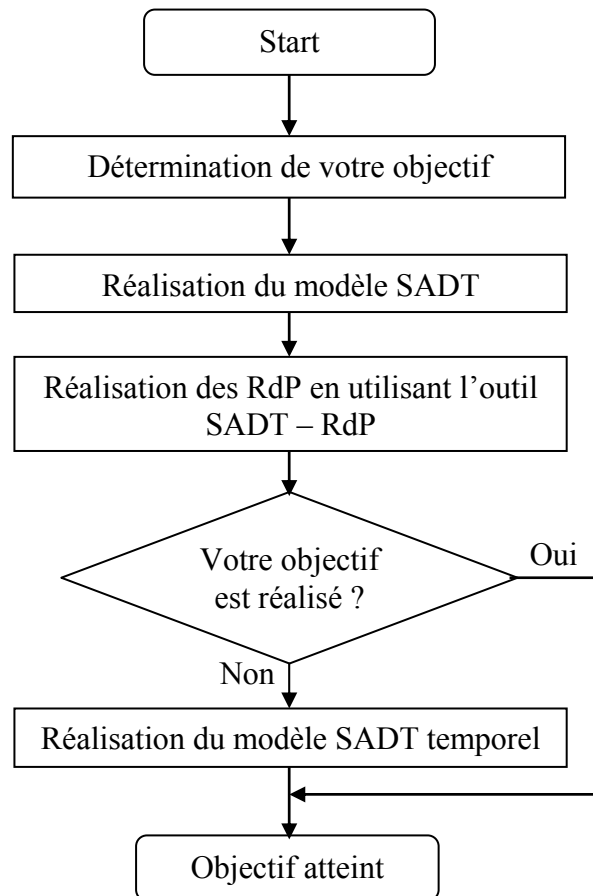


Figure III.21. SADT temporel et l'outil SADT - RdP ensemble

### III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une approche dynamique, en réalisant le passage de modèle IDEF0/SADT vers les RdP. Dans un premier temps, nous avons indiqué les avantages et la force des RdP et aussi les différents types et quelques définitions des RdP.

Ensuite, nous avons détaillé le passage de IDEF0/SADT vers les RdP, tout d'abord, nous avons cité les travaux précédents dans ce domaine, puis, nous avons montré les règles utilisées pour réaliser ce passage. En plus, nous avons appliqué ces règles sur notre modèle SADT de la centrale thermique présenté dans le chapitre précédent.

Enfin, nous avons expliqué un nouvel outil qui nous aide à modéliser les aspects dynamiques, cet outil est le SADT temporel. Nous avons proposé une comparaison entre ces deux outils : l'outil IDEF0/SADT - RdP et SADT temporel, de plus, nous avons proposé un scénario pour intégrer les deux outils ensemble.



# **CHAPITRE IV**

## *Optimisation des ressources*



## ***Chapitre IV***

### ***Optimisation des ressources***

Dans les chapitres antérieurs, nous avons proposé une démarche pour la mise en place d'un système de management de la qualité. De même, nous avons développé une approche formelle pour la modélisation du système étudié basée sur l'outil SADT et une méthode pour la vérification des cohérences fonctionnelles basée sur l'outil réseau de Petri. Pour ce faire nous avons mis au point un algorithme pour construire un réseau de Petri à partir d'un modèle SADT tout en tenant compte des contraintes spécifiques d'un système de management de la qualité. Contrairement au modèle SADT, un outil réseau de Petri permet une représentation formelle du comportement dynamique d'un système et il fournit des techniques d'analyse importantes pour évaluer ses performances.

Dans ce chapitre, nous allons plus loin dans notre démarche et nous proposons une approche pour l'optimisation des ressources dans un système de contrôle de la qualité dans la production. Ce système est caractérisé par plusieurs types de ressources, un résultat des actions de contrôle aléatoire, la présence des ressources consommables.

#### ***IV.1 Optimisation de ressources***

Notre objectif dans cette partie est de proposer une méthode d'optimisation des ressources dans le cadre d'un système de production soumis au contrôle de la qualité des produits. L'objectif est d'utiliser au mieux les ressources existantes et le budget affecté pour l'achat de nouveaux équipements afin de maximiser la productivité. Nous accordons une attention particulière à l'utilisation des ressources consommables comme le budget disponible. Contrairement aux équipements, une fois affecté, le budget ne peut plus être réutilisé. Par conséquent, une erreur dans l'achat des équipements ne peut plus être corrigée lors d'une prochaine itération.

La prise en compte des ressources consommables dans l'optimisation des systèmes de production, trouve tout son intérêt car pour répondre aux défis du monde industriel actuel, il faut adopter des stratégies de production avec des budgets limités.

Dans la littérature, nous trouvons un nombre important d'études proposant des idées et des méthodes pour l'optimisation des systèmes de production. Nous avons présenté les méthodes les plus intéressantes pour notre travail de recherche dans le chapitre 1. Parmi ces méthodes, l'approche proposée dans [Panayiotou, 99] propose une solution au problème de

l'affectation d'un nombre fini de ressources avec la maximisation de fonction de performance donné. En fait, ils ont proposé deux algorithmes. Le premier est l'Algorithme d'optimisation d'accroissement (IO Incremental Optimization) qui peut être appliqué quand à chaque étape la solution optimale est unique. Le deuxième est l'algorithme d'optimisation d'accroissement généralisée (GIO Generalized Incremental Optimization) qui s'applique dans le cas général, lorsqu'à chaque itération il y a plusieurs solutions optimales. Mais, pour appliquer ces algorithmes, il faut vérifier que la fonction de performance soit *douce*, c'est-à-dire la trajectoire qui mène vers la solution optimale passe forcément par la meilleure solution trouvée à chaque itération. Cette condition importante et suffisante pour la convergence et pour garantir qu'une affectation optimale donnera une nouvelle solution optimale dans la prochaine affectation. De plus, cette condition est une limite très forte dans cette approche. Par ailleurs, cette approche ne traite pas les contraintes stochastiques.

Dans [Giua, 02] les auteurs ont traité le problème d'affectation de nombre fini de ressources avec la maximisation de la fréquence de franchissement. Ils ont utilisé le graphe des événements (GdE) déterministe cyclique comme un outil de modélisation. Les variables de décision considérées sont : le marquage initial et la fréquence de franchissement. Les auteurs ont proposé trois procédures pour résoudre ce problème. La première est basée sur l'algorithme GIO. Dans cette partie, ils ont supposé que la fonction de performance (fréquence de franchissement) n'est pas « douce », pour cela, ils ont proposé une nouvelle règle pour l'affectation de ressources. Ensuite, ils ont proposé un nouvel algorithme pour calculer la solution optimale (TIO Two-index Incremental Optimization). Cet algorithme est efficace en terme de temps de calcul et de nombre de solutions optimales, parce que dans cet algorithme, on garde une seule solution optimale. Nous pouvons considérer que l'algorithme TIO est une extension de l'algorithme GIO. En effet, les auteurs considèrent que parmi les solutions optimales trouvées à chaque itération, il y en a forcément une à partir de laquelle on peut accéder à la solution optimale. Cette hypothèse est plus générale que celle présentée dans [Panayiotou, 99], mais elle reste très restrictive.

De plus, ils ont proposé deux méthodes pour résoudre le problème en général sans utilisation de la règle d'affectation de ressources. La première utilise la technique de programmation linéaire avec nombres entiers. Elle est basée sur la connaissance de tous les circuits élémentaires du GdE. L'identification des circuits élémentaires est généralement une tâche difficile. Par conséquent, ceci peut être considéré comme un inconvénient de cette méthode. La deuxième méthode est une extension de la première. Elle est également basée sur la résolution d'un problème de programmation avec nombres entiers. La technique de calcul s'appuie sur le résultat des travaux de [Campos, 92]. Son avantage est qu'elle ne nécessite pas

le calcul des cycles élémentaires. Par contre, ces méthodes sont conçues pour le cas des GdE déterministes.

Cependant, [Sauer, 03] a proposé une heuristique itérative pour résoudre le problème d'optimisation de marquage des GdE valués. L'idée de cette méthode est d'enlever à chaque itération un jeton dans une place  $p^*$  en répondant à deux objectifs fondamentaux : réduire au maximum la valeur du critère à optimiser, c'est-à-dire le coût des ressources, et augmenter aussi faiblement que possible le temps de cycle moyen, c'est-à-dire diminuer au minimum la productivité. Pour déterminer le temps de cycle moyen du GdE valué, l'auteur utilise la simulation. Pour pouvoir résoudre le problème d'optimisation du marquage en limitant le nombre de simulations (c'est-à-dire en limitant les temps de calcul), les informations obtenues lors de cette simulation permettent également de déterminer la place recherchée.

L'inconvénient des méthodes basées sur l'amélioration itérative est que la recherche s'arrête dès que le processus ne peut plus améliorer la solution obtenue. La recherche peut aboutir à un minimum local de mauvaise qualité d'où elle ne pourra pas sortir. De plus, dans ces méthodes, nous ne pouvons pas savoir si la solution estimée se dirige vers la solution optimale si un critère de convergence n'est pas défini.

[Toursi, 06] ont proposé une méthode pour résoudre le problème d'optimisation du marquage des GdE valué basée sur un algorithme du recuit simulé modifié. Cet algorithme suit la même démarche que le recuit simulé mais au lieu de générer une configuration dans le voisinage considéré et décider de son acceptation en fonction d'une probabilité, il décide d'améliorer l'objectif ou de le détériorer suivant une probabilité définie. La méthode du recuit simulé peut être considérée comme une méthode d'optimisation locale qui part d'une solution initiale et l'améliore en déterminant la meilleure solution dans un voisinage de la solution initiale. Ce processus est répété en remplaçant la solution initiale par la solution retenue à chaque itération jusqu'à convergence. L'avantage de l'optimisation locale est la simplicité mais elle risque de conduire à un optimum local. Pour éviter le piège d'un optimum local, la méthode du recuit simulé accepte des solutions moins bonnes mais cette acceptation est contrôlée par un processus inspiré de la méthode du recuit dans la physique des matériaux [Kirkpatrick, 83]. Il s'agit de solidifier un matériel en état liquide afin d'atteindre un état d'énergie minimale. Cet état ne peut être atteint qu'en partant d'une haute température et en baissant très lentement la température. Cette méthode utilise la notion de température pour contrôler la dégradation des solutions dans la recherche de l'optimum.

Le système de production que nous considérons est un atelier avec plusieurs machines utilisées par des opérateurs. Le cycle de travail sur une machine est composé d'une opération de préparation de la machine effectuée par l'opérateur, de l'usinage et du contrôle de la



qualité de pièces fabriquées. Ce contrôle est fait par échantillonnage. Selon le résultat du contrôle, qui est une variable aléatoire, la machine peut nécessiter un réglage afin de retrouver les paramètres. Notre objectif est de déterminer le nombre de chaque type de machines à acquérir et des opérateurs à embaucher par rapport à un budget donné afin de maximiser la productivité.

#### ***IV.2 Méthode d'optimisation de ressources proposée***

Dans notre méthodologie, nous avons proposé la modélisation d'un système de contrôle de la qualité par les outils de la famille d'IDEF afin de vérifier les cohérences fonctionnelles. Ensuite nous avons construit le Réseaux de Petri associé afin d'évaluer les performances dynamiques du système. Enfin, nous cette troisième étape de notre démarche vise à affecter au mieux les ressources renouvelables et consommables disponibles pour maximiser les performances du système de production.

La méthode que nous proposons pour résoudre ce problème est basée sur la méthode du recuit simulé. Afin d'accélérer la convergence, la génération des nouvelles solutions est basée sur le calcul du taux d'utilisation des différentes ressources. Nous privilégions l'acquisition des ressources qui ont un taux d'utilisation élevé. Cette méthode est destinée au cas où le budget disponible pour l'investissement est bien plus important que la valeur d'un équipement ou le coût occasionné par l'embauche d'un opérateur. Ceci se traduit par un espace de solutions d'une taille importante. Lorsque la taille de l'espace des solutions est réduite, une méthode de type branch and bound peut être utilisée.

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire se préoccupent du cas où l'espace des solutions est grand. Le deuxième cas, où la taille de l'espace des solutions est réduite, sera traité lors des futurs travaux.

Notre approche, basée sur la méthode du recuit simulé, est constituée de plusieurs étapes :

##### **Etape 1 : Initialisation des paramètres**

Les données du problème sont les nombres de types de ressources, les coûts et la performance associée à chaque type de ressources et le budget disponible. La solution initiale réalisable peut être donnée par la configuration initiale de l'atelier. Cette solution réalisable est modélisée par le réseau de Petri. Par la suite, nous choisissons les paramètres de l'algorithme recuit simulé.

Pour la température initiale, nous allons utiliser l'expression utilisé par [Toursi, 06] :

$$T_0 = \frac{f_0}{\log(P_0)}$$

où :

$f_0$  est le coût de solution initiale,

$P_0$  est la probabilité initiale, nous utilisons la probabilité initiale comme  $P_0 = 0.5$ .

### **Etape 2 : L'affectation de ressources**

La plupart de méthode d'optimisations existantes dans la littérature traite le cas d'un seul type de ressources. Cependant, le problème que nous traitons dans nos travaux est caractérisé par plusieurs types de ressources comme par exemple : différentes types de machines, différents types de RH (les opérateurs et les régleurs). Pour cela, dans notre méthode, nous proposons d'affecter les ressources selon le taux d'utilisant. En premier lieu, les ressources ayant un taux d'utilisation important, principalement à cause des goulets d'étranglement. Par conséquent, la capacité de ces ressources limite la productivité. D'un autre coté, cette règle d'affectation inspirée de la pratique permet d'accélérer la convergence de l'algorithme car ce choix va diminuer le nombre de solutions testées et donc le temps de calcul.

Le taux d'utilisation d'une machine  $TdU_M$  est donné comme suit :

$$TdU_M = \frac{\text{Temps de Simulation} - (\text{Temps de Blocage} + \text{Temps de Réglage})}{\text{Temps de Simulation}}$$

Par contre, pour les autres ressources nous avons défini les taux d'utilisation des opérateurs  $TdU_R$  et le taux d'utilisation des régleurs  $TdU_{Re}$  comme suit :

$$TdU_R = \frac{\text{Temps de Simulation} - \text{opérateurs sans activité}}{\text{Temps de Simulation}}$$

$$TdU_{Re} = \frac{\text{Temps de Réglage}}{\text{Temps de Simulation}}$$

### **Etape 3 : La simulation du réseau de Petri**

La simulation du réseau de Petri qui modélise le comportement dynamique du système est effectuée à l'aide d'un programme en langage C++. Cette technique nous permet d'estimer les performances du système par rapport à un jeu de paramètres donné.

**Etape 4 : La prise de décision**

Cette étape est très importante dans notre algorithme. Elle consiste à accepter ou refuser une nouvelle solution telle qu'on avance vers la solution optimale sans se faire « piéger » par un optimum local.

Par conséquent, si la nouvelle solution améliore l'objectif précisé, elle est acceptée. Par contre, si elle est moins bonne, alors nous acceptons la nouvelle solution avec une probabilité qui diminue avec le nombre d'itérations. Plus le nombre d'itérations effectuées est important, plus la probabilité d'accepter une mauvaise solution est faible.

**Etape 5 : La réduction de la température**

La performance du recuit simulé dépend largement du schéma de réduction de la température utilisée. Plusieurs lois de réduction de la température existent dans la littérature. La plus utilisée est la loi linéaire proposée par [Oliveira, 93] définie comme suit :  $T_{n+1} = \alpha T_n$  où  $\alpha$  est une constante généralement choisie dans l'intervalle de 0.95 à 0.80. L'avantage de cette loi est qu'elle permet d'avoir une décroissance qui n'est ni trop rapide ni trop lente.

**Etape 6 : Le critère d'arrêt**

L'algorithme s'arrête et retourne à la meilleure solution trouvée lorsqu'aucune amélioration n'est possible ou lorsque la température atteint une valeur inférieure à  $\varepsilon$  proche de 0 ou lorsqu'on dépasse la limite du budget  $K$ .

**Algorithme d'optimisation :****Etape 1 : Initialisation**

- a) Initialiser le nombre initial de ressources de chaque type :  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ .
- b) Déterminer le coût associé à chaque type de ressource :  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$  et le budget disponible  $K$ .
- c) Solution initiale  $S_0$  donnée par le nombre initial de ressources de chaque type.
- d) La température initiale  $T_0 = \frac{f_0}{\log(P_0)}$  avec  $P_0 = 0.5$ .

**Etape 2 : Affectation de ressources**

- a) Calculer le taux d'utilisation de chaque type de ressource. Soit  $i$  le type de ressource avec le taux d'utilisation le plus grand. Alors,  $x_i = x_i + 1$ .

**Etape 3 : Simulation de RdP**

- a) Enregistrer la nouvelle solution  $S_n$ .

**Etape 4 : Prendre une décision par rapport à la solution retenue**

- a) Si la performance de la nouvelle solution  $S_n$  est inférieure à l'ancienne solution  $S_{n-1}$ , alors :

Générer une valeur aléatoire  $P$  entre 0 et 1.

$$\text{Si } P < \exp\left(\frac{-f}{T}\right).$$

Alors la nouvelle solution  $S_n$  est acceptée.

Sinon la nouvelle solution  $S_n$  est rejetée.

Sinon, la nouvelle solution  $S_n$  est acceptée.

### **Etape 5 : Mettre à jour la température**

- a) Déterminer la température suivante  $T_{n+1} = 0.9 T_n$ .

### **Etape 6 : Critère d'arrêt :**

- a) Si  $((T > \varepsilon) \text{ ou } (x_1 C_1 + x_2 C_2 + x_3 C_3 \leq K))$ , alors aller à l'étape 2.

**Remarque 1 :** L'affectation d'une nouvelle ressource, nécessite l'identification de la ressource la plus chargée dans le système étudié, ensuite, nous ajoutons la nouvelle ressource ayant les mêmes caractéristiques que la ressource la plus chargée.

**Remarque 2 :** La convergence de l'algorithme est une conséquence directe du fait que le nombre des ressources susceptibles d'être ajoutées est fini. Il est borné par la valeur du budget disponible (la ressource consommable).

**Remarque 3 :** La règle d'affectation des ressources que nous proposons pour accélérer la convergence de l'algorithme est différente de l'hypothèse spécifique aux approches proposées dans [Panayiotou, 99] et dans [Giua, 02] qui sont dédiées au cas déterministe et qui ne considèrent pas les optimums locaux.

Par la suite, nous allons illustrer l'application de l'approche que nous proposons et nous validons son efficacité à l'aide des essais numériques pour le cas d'un système de production composé de ressources réutilisables et de ressources consommables.

## **IV.3 Application**

Dans les chapitres précédents, nous avons utilisé l'exemple d'une centrale thermique pour appliquer notre méthodologie. C'est une application complexe dont l'étude détaillée nécessite la mise à disposition des données pour la plupart confidentielles. Nous allons analyser ce type de système dès que nous aurons accès aux données. Par conséquent, dans ce

chapitre nous utilisons un autre exemple, beaucoup plus simple pour illustrer la méthode d'optimisation de ressources que nous proposons.

La structure du système de production que nous nous proposons d'étudier est donnée dans la Figure IV.1 :

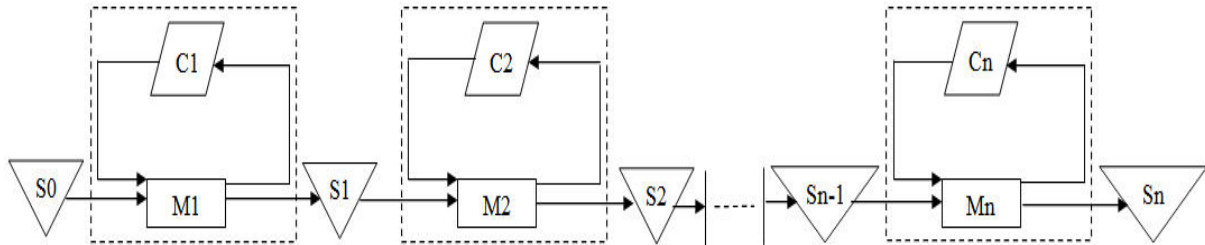


Figure IV.1. Ligne de fabrication

Il s'agit d'une ligne de fabrication composée des machines séparées par des zones de stockage. Cette ligne commence avec le stock  $S_0$ , ensuite, les activités réalisant les produits sur la machine  $M_1$ . La qualité des opérations réalisées sur la machine  $M_1$  est surveillée à travers une opération de contrôle  $C_1$ . Après l'usinage et le contrôle, les pièces sont stockées dans le stock  $S_1$ .

Chaque machine a besoin d'un opérateur pour la faire démarrer, pour évacuer les pièces usinées, pour contrôler les pièces et effectuer des réglages si nécessaire. En effet, si lors du contrôle on détecte une dérive de la qualité des pièces, alors un réglage de la machine est nécessaire. Le réglage engendre une durée d'indisponibilité supplémentaire de la machine, ainsi que de l'opérateur qui est chargé d'effectuer cette tâche. Les opérateurs sont des ressources partagées par l'ensemble des machines.

Pour cela, nous allons proposer la Figure IV.2 qui présente les activités de réglage et le partage de ressources.

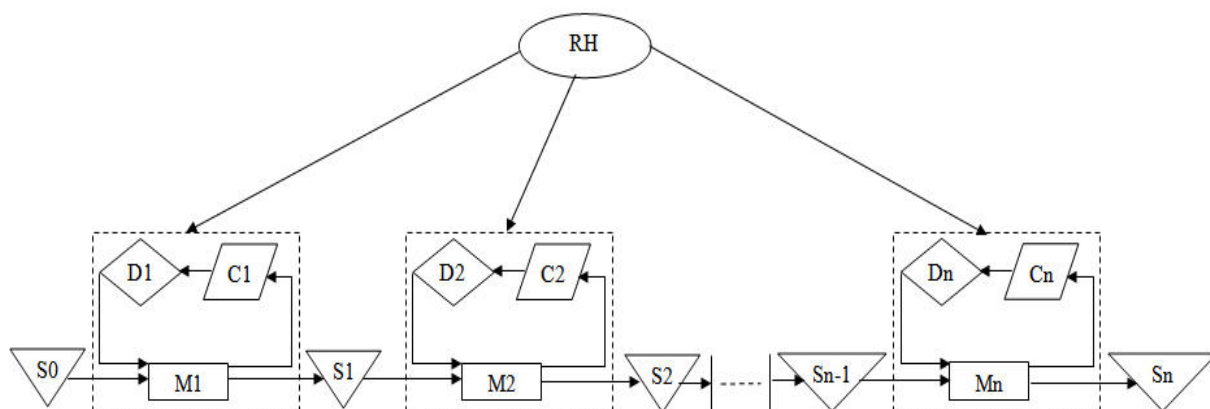


Figure IV.2. Ligne de fabrication avec les effets de réglage et partage de ressources

Dans la Figure IV.2 pour chaque machine  $n$ , la tâche de contrôle est notée par  $C_n$  et la tâche de réglage est notée par  $D_n$ . Le résultat du contrôle est aléatoire. Par conséquent, le réglage d'une machine est effectué de manière aléatoire, avec une probabilité donnée.

Par la suite, nous allons appliquer notre méthodologie sur cette ligne de fabrication.

### IV.3.1 Modèle SADT

Nous montrons le diagramme A0 du modèle SADT d'une partie de la ligne de fabrication dans la Figure IV.3. Les étapes de la création de modèle SADT ont été détaillées dans le chapitre 2.

Ce diagramme contient trois activités :

- Les activités de la machine, qui sont séparées en deux parties. La première partie concerne les opérations de préparation et de démarrage de la machine. Ces opérations nécessitent des ressources humaines. La deuxième partie concerne l'usinage de la pièce qui est effectué sans l'intervention des ressources humaines.
- Les activités de contrôle sont très importantes dans notre étude parce que ces activités nous permettent de décider la poursuite de la production ou la nécessité d'une opération de réglage,
- Les activités de stockage.

Ce diagramme commence par des matières premières ou par des produits initiaux. Il finit par des produits semi fabriqués.

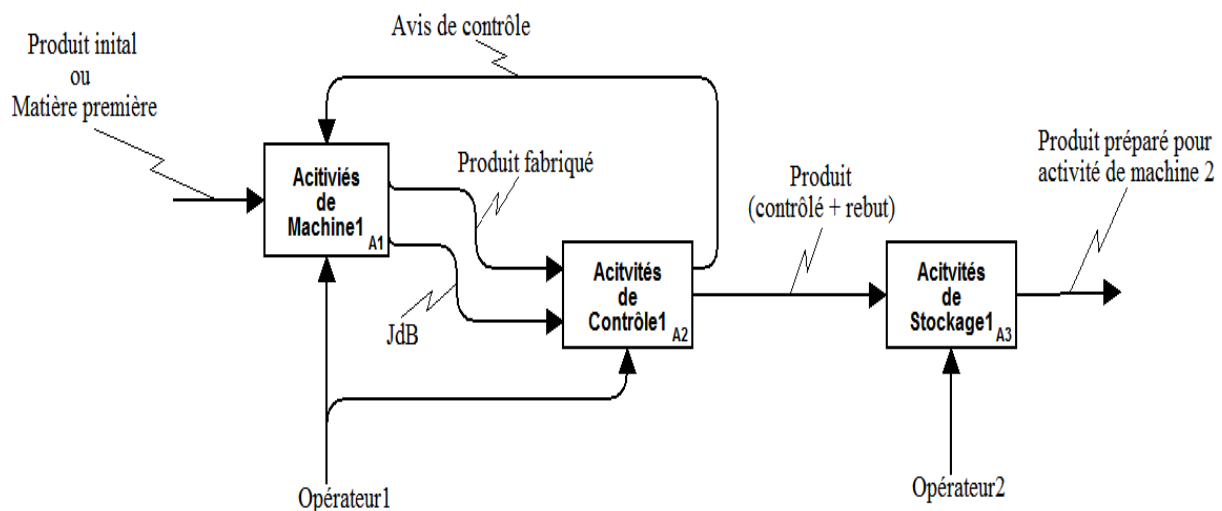


Figure IV.3. Modèle SADT

Cependant, nous nous intéressons à l'étude de l'influence des réglages des machines suite au résultat du contrôle. Nous intégrons les effets de réglage dans le diagramme SADT illustré dans la Figure IV.4.

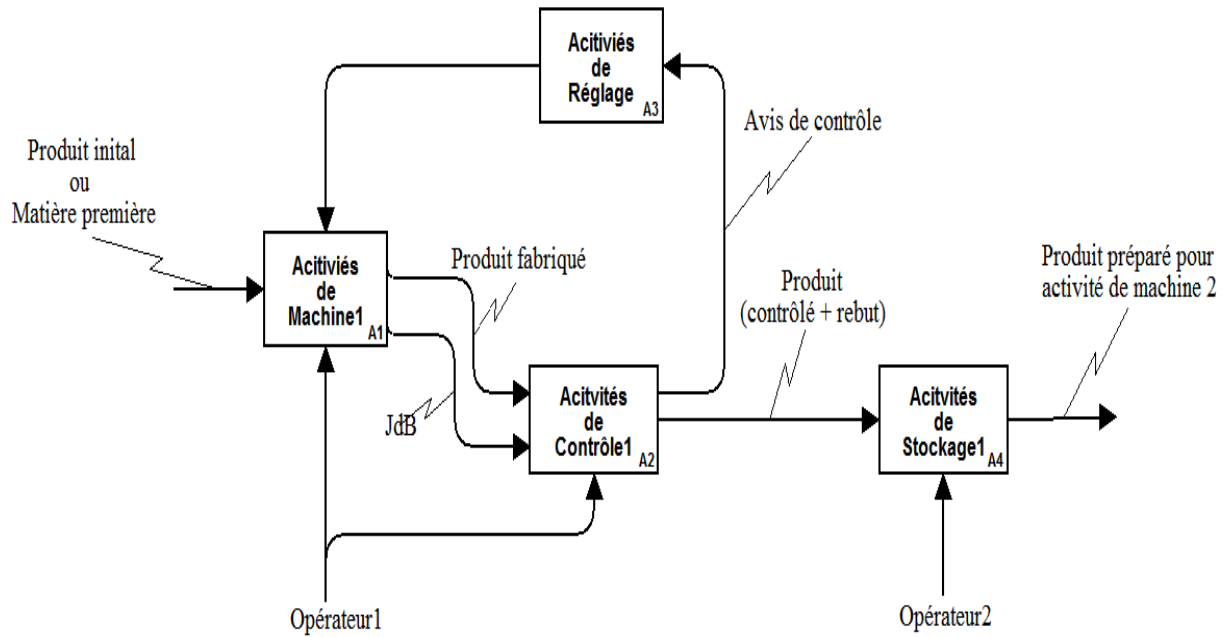


Figure IV.4. Modèle SADT - Effets de réglages

Nous précisons qu'il y a des contraintes nous n'avons pas pris en compte, pour cela nous n'avons pas indiqué les flèches des contrôles dans le modèle SADT. Ces contraintes sont hors de notre objectif qui est l'optimisation des ressources en présence des activités de contrôle et de réglages des machines.

Parmi ces contraintes qui n'ont pas été prises en compte, on peut citer l'influence de la méthode d'échantillonnage, la fiabilité des machines et des outils utilisés et des matières premières, la capacité des stockages, le coût des rebuts, etc.

### IV.3.2 Modèle réseau de Petri

En appliquant la méthode de passage du SADT vers le RdP proposée dans le chapitre 3, nous avons obtenu le RdP illustré dans la Figure IV.5.

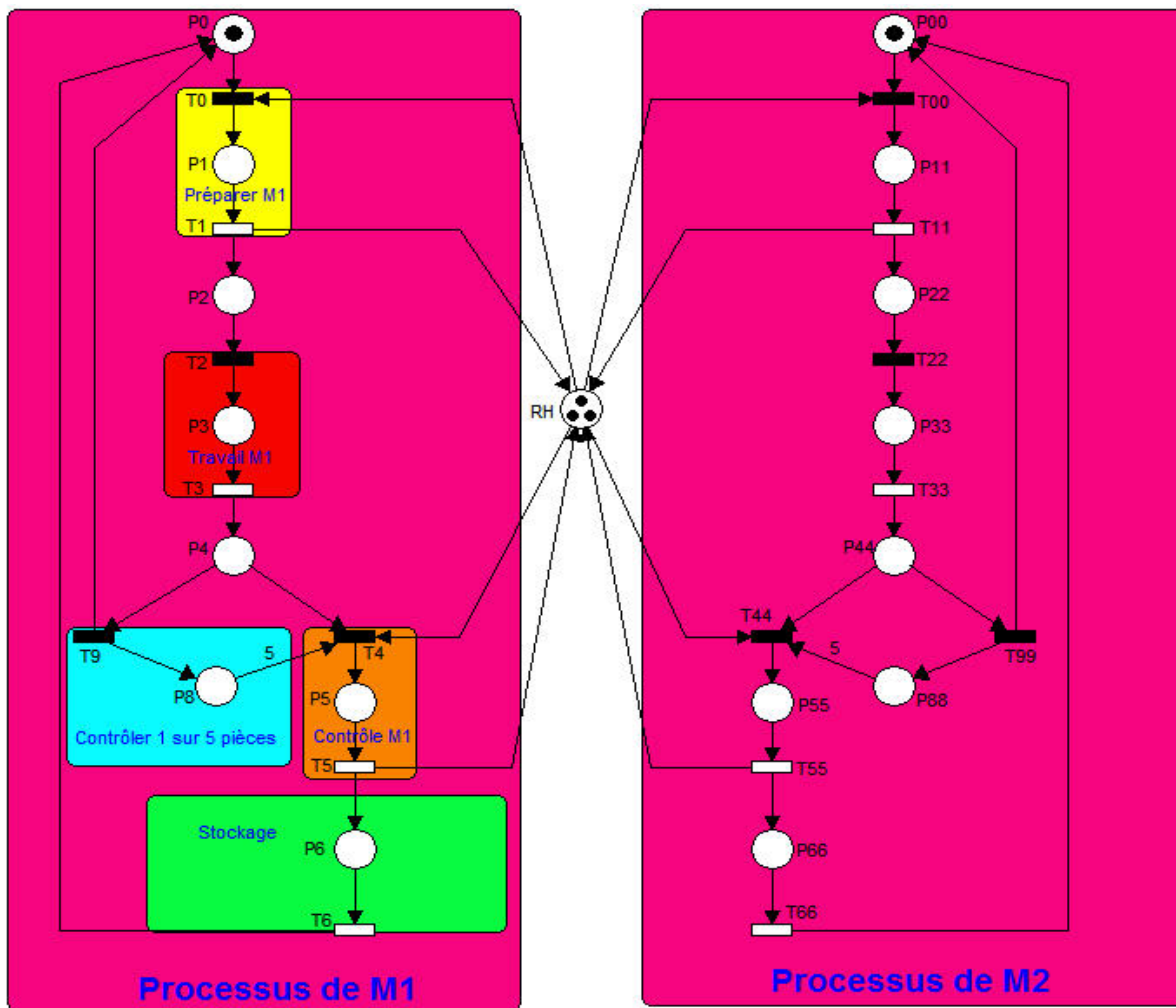


Figure IV.5. Modèle RdP – processus de deux machines sans réglage

Ce modèle de réseau de Petri commence par la place  $P_0$  qui modélise la zone de stockage  $S_0$ . Ensuite, la transition  $T_0$  modélise le démarrage des activités de préparation de la machine (alimenter de matière première, régler les paramètres de machine... etc.). Cette étape nécessite la présence de l'opérateur. Nous allons libérer l'opérateur après le franchissement de transition  $T_1$ . De plus, s'il n'y a pas des opérateurs disponibles pour la préparation et le démarrage d'une machine, alors celle-ci est mise en attente. Nous assimilons cet état à un blocage temporaire.

La deuxième étape de ce processus est l'exécution du traitement par la machine. Cette étape commence avec le franchissement de  $T_2$  et finit par franchissement de  $T_3$ . Nous considérons que la machine peut effectuer cette activité sans l'intervention des ressources humaines. Le contrôle est effectué par échantillonnage. Par exemple nous allons contrôler une pièce sur cinq. Ainsi, nous allons exécuter les deux étapes précédentes cinq fois. Ensuite, nous démarrons la tâche de contrôle avec le franchissement de  $T_4$ . Cette tâche nécessite l'intervention d'un opérateur (ressource humaine). La ressource humaine est libérée par le



franchissement de  $T_5$ . Dans ce cas aussi nous pouvons voir un cas de blocage temporaire s'il n'y a pas d'opérateurs disponibles.

Enfin, nous réalisons les activités de stockage après l'étape de contrôle. Avec le franchissement de  $T_6$ , nous commençons un nouveau cycle.

Le diagramme SADT présenté dans la Figure IV.3 modélise le fonctionnement d'une machine, sans prise en compte du réglage. Le réseau de Petri illustré dans la Figure IV.5 est basé sur ce diagramme. Cependant, pour mettre en évidence le partage des ressources, nous avons représenté le cas d'un système de production avec deux machines.

Le diagramme SADT illustré dans la Figure IV.4 intègre la prise en compte des tâches de réglage suite au résultat du contrôle de la qualité. Le réseau de Petri associé est présenté dans la Figure IV.6.

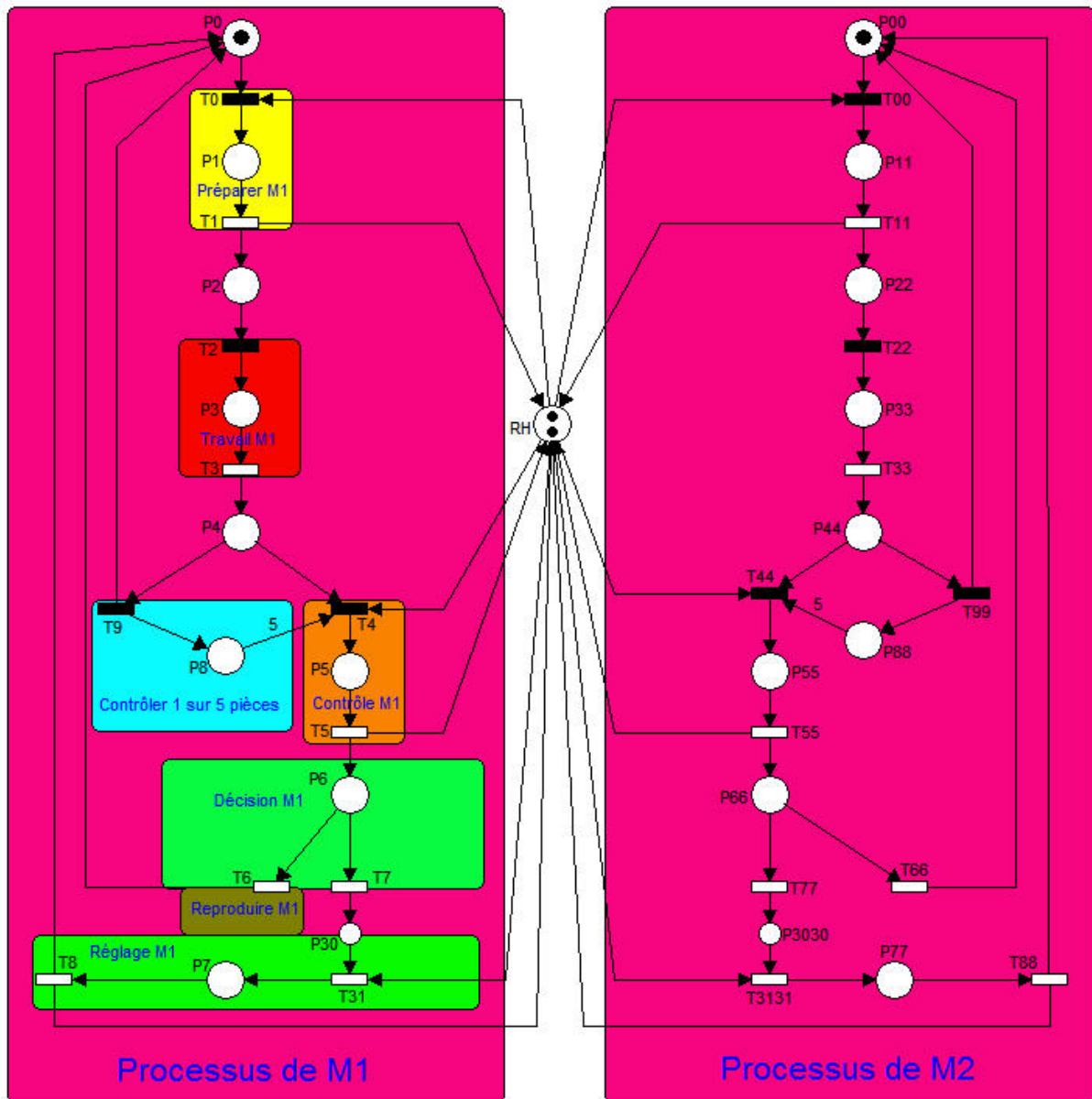


Figure IV.6. Modèle RdP – avec les réglages

Dans le nouveau modèle, le franchissement de  $T_6$  montre que le résultat de contrôle est positif, en conséquence nous exécutons un nouveau cycle production. Par contre, le franchissement de transition  $T_7$  indique que le résultat du contrôle est négatif et le démarrage les activités de réglage de machine. Le réglage d'une machine nécessite l'intervention d'un opérateur ou d'un régleur. Cette activité est déclenchée par le franchissement de la transition  $T_{31}$  s'il y a un opérateur disponible, sinon la machine entre dans un état de blocage temporaire. Dès que l'opération de réglage est terminée, on commence un nouveau cycle de production avec le franchissement de la transition  $T_8$ .

La date de démarrage d'une opération de réglage est une variable aléatoire. Par contre, la durée de chaque opération est déterministe.

### IV.3.3 Résultats numériques

La Figure IV.7 montre la démarche de notre algorithme pour chercher la solution optimale dans l'application proposée.

Nous utilisons les notations suivantes :

$x_1$  est le nombre de machines,

$x_2$  est le nombre des opérateurs,

$x_3$  est le nombre de régleurs,

$C_1$  est le coût de machine,

$C_2$  est le coût d'opérateur,

$C_3$  est le coût de régleur,

$K$  est le budget total,

$P_0$  est la probabilité initiale,

$T_0$  est la température initiale,

$S_0$  est la solution initiale,

$T\_att$  est le temps d'attente de machines,

$T\_reg$  est le temps de réglage de machines.

Dans l'application proposée, nous avons choisi trois types de ressources : machines, opérateurs et régleurs.

L'algorithme commence par initialiser les paramètres  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $K$ ,  $P_0$  et  $T_0$ , en sachant que  $P_0 = 0.5$  et  $T_0 = \frac{f_0}{\log(P_0)}$ . Ensuite, nous effectuons des simulations du modèle RdP. Ces observations par simulation nous permettent d'évaluer des mesures de

performance :  $NP$ , le nombre de pièces fabriquées ;  $Pro$ , la productivité ;  $T_{att}$ , le temps d'attente de machine (le temps de blocage temporaire) et  $T_{reg}$ , le temps de réglage. Ensuite, on génère une nouvelle solution pour l'affectation des ressources selon les taux d'utilisation correspondant. Pour affecter une nouvelle ressource, tout d'abord il faut déterminer la ressource la plus chargée. Ensuite, nous ajoutons une nouvelle ressource ayant les mêmes caractéristiques que la ressource la plus chargée.

Nous calculons le taux d'utilisation d'une machine  $TdU_M$  comme suit :

$$TdU_M = \frac{\text{Temps de Simulation} - (\text{Temps de Blocage} + \text{Temps de Réglage})}{\text{Temps de Simulation}}$$

Par contre, pour les autres ressources nous avons défini les taux d'utilisation des opérateurs  $TdU_R$  et le taux d'utilisation des régleurs  $TdU_{Re}$  par les expressions suivantes :

$$TdU_R = \frac{\text{Temps de Simulation} - \text{opérateurs sans activité}}{\text{Temps de Simulation}}$$

$$TdU_{Re} = \frac{\text{Temps de Réglage}}{\text{Temps de Simulation}}$$

Cependant, le choix de la solution retenue à chaque itération est basé sur la comparaison entre la nouvelle solution  $S_n$  et la précédente solution  $S_{n-1}$ , si  $S_n > S_{n-1}$  nous acceptons la nouvelle solution  $S_n$ . Sinon nous générons une probabilité  $P$  entre 0 et 1. Si la probabilité  $P < \exp\left(\frac{-f}{T}\right)$  nous acceptons la solution  $S_n$  même si cette solution est moins bonne que la précédente, sinon nous retenons la précédente solution  $S_{n-1}$ .

Après cette étape, nous effectuons une nouvelle itération qui consiste à générer une nouvelle solution par l'affectation d'une nouvelle ressource et l'évaluation des performances obtenues.

L'algorithme s'arrête lorsque la limite du budget disponible pour l'acquisition des ressources est atteinte ou lorsque la température est devenue trop basse. Dans ce cas il faut augmenter la durée de la simulation, car du point de vue pratique il est intéressant d'utiliser toutes les ressources dont on peut disposer.

Par la suite, nous allons montrer notre résultat numérique en appliquant les démarches précédentes sur notre exemple de production.

Dans un premier temps, nous utilisons l'algorithme du recuit simulé, sans prendre en compte la règle d'allocation de ressources basée sur le taux d'utilisation des ressources. Ensuite, nous appliquons la méthode que nous proposons sur le même exemple d'application.

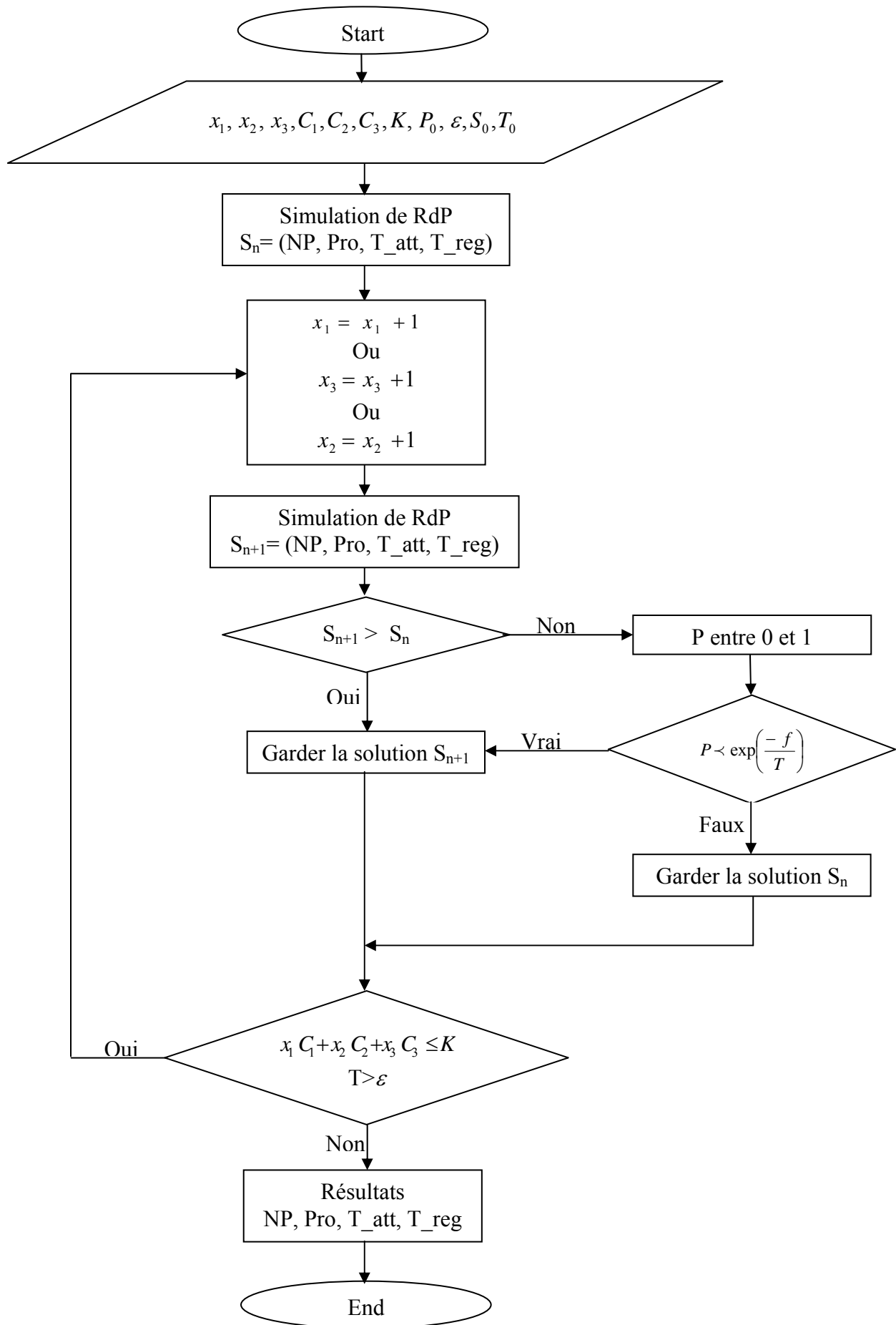


Figure IV.7 Algorithme de simulation de la solution

### IV.3.3.1 Résultats obtenus par le Recuit simulé

La Figure IV.8 montre les résultats obtenus par l'application de l'algorithme du recuit simulé pour l'optimisation de ressources dans le système de production considéré. Nous observons sur cette figure la trajectoire suivie pour arriver à la solution optimale. La solution optimale fournie par cette méthode est : 22 machines, 22 opérateurs et 21 réglleurs.

Dans cette figure, nous voyons que notre courbe est un peu stable car au début de cette méthode la différence entre la performance des solutions générées successivement est petite.

Le temps choisi pour chaque simulation est de 1600 heures de travail c'est-à-dire d'environ une année de travail. En plus, le budget utilisé par la solution optimale est de 498000 € par rapport au budget total de 500000 € (voir Tableau IV.1. Comparaison entre les deux méthodes).

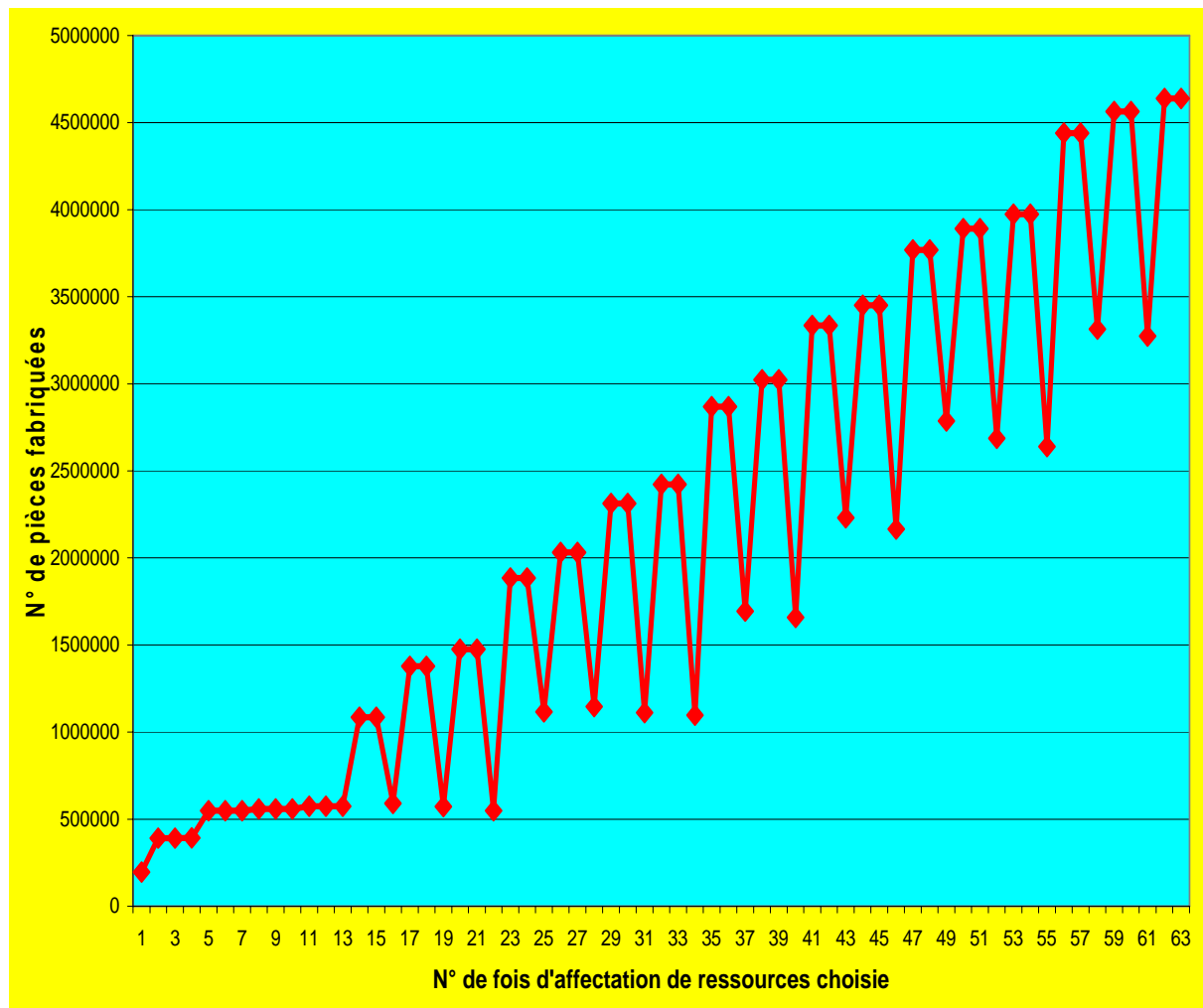


Figure IV.8. Optimisation de ressources - Recuit simulé

La variation de cette courbe est grâce à la probabilité comparée avec le coût de la solution optimale, grâce à cette probabilité nous avons accepté des solutions optimales moins performantes que les solutions précédentes.

### IV.3.3.2 Méthode proposée

Nous avons appliqué notre méthode sur le même exemple d'application et le résultat est montré dans la Figure IV.9. Nous pouvons remarquer dans cette figure que la règle d'affectation des ressources selon le taux de disponibilité permet une convergence plus rapide vers une solution optimale.

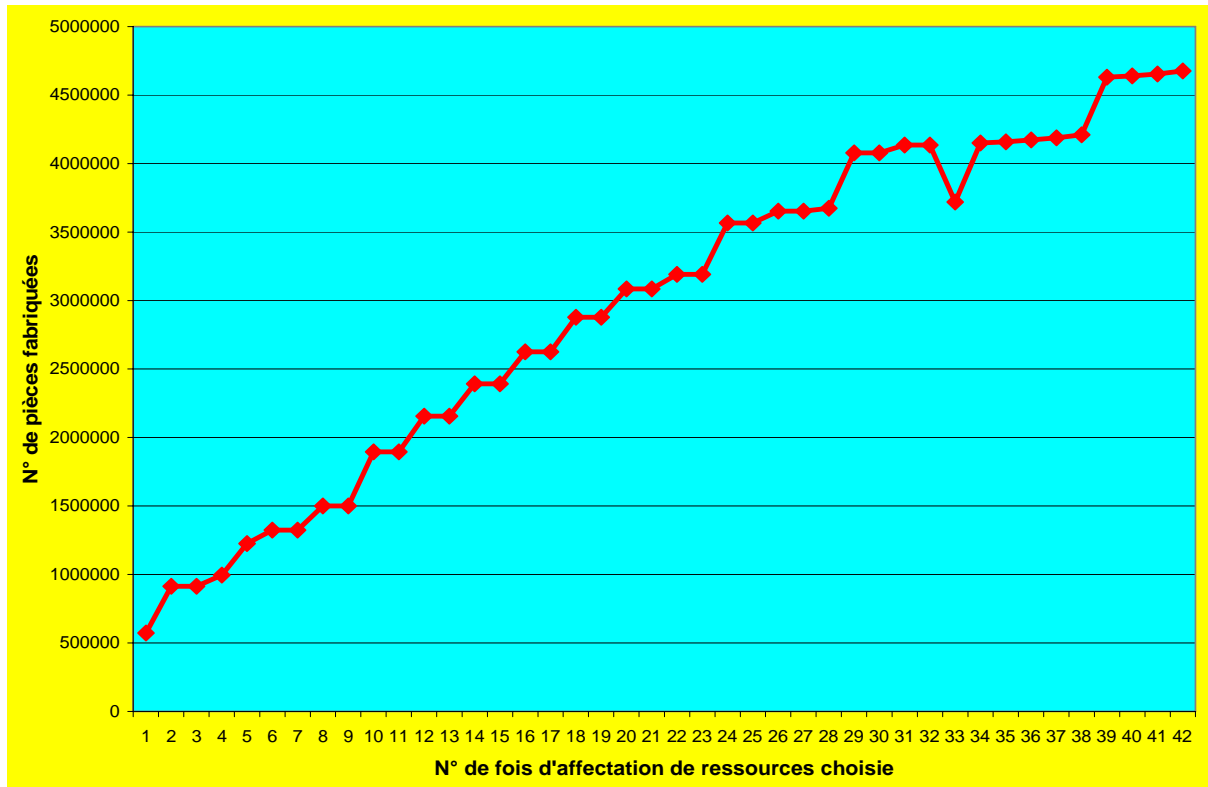


Figure IV.9. Optimisation de ressources - Notre méthode

Une comparaison des solutions fournies par les deux méthodes est donnée dans le Tableau IV.1. Les valeurs obtenues sont données pour la même valeur de la température, sauf pour la solution optimale proposée par chaque méthode.

	Nombre de machine (N)	Nombre des opérateurs (R)	Nombre de régleurs (Re)	Solution gardée (S <sub>n</sub> )	Coût d'affectation de ressources (C)	Température (T)
<b>Recuit simulé</b>	2	2	1	391447	38000	810
	5	5	4	573135	107000	313,8105
	8	8	8	1476443	184000	109,4189
	12	11	11	1111581	265000	38,15201
	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>21</b>	<b>4638345</b>	<b>498000</b>	<b>1,455576</b>

<b>Notre méthode</b>	6	2	1	912831	86000	810
	12	5	3	1895295	183000	313,8105
	20	7	4	3084805	293000	109,4189
	28	9	4	4134721	395000	38,15201
	<b>35</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>4654723</b>	<b>496000</b>	<b>13,30278</b>

Tableau IV.1. Comparaison entre les deux méthodes

On peut remarquer que la méthode que nous proposons permet d'obtenir une meilleure performance que le recuit simulé. Ainsi, la solution proposée est caractérisée par une meilleure productivité pour un budget dépensé moins important. Cette solution utilise 52 ressources contre 65 ressources utilisées par la solution fournie par le recuit simulé.

Cependant, si nous comparons la température de la solution optimale fournie par notre méthode et celle fournie par la méthode de recuit simulé, nous remarquons que la valeur de température dans notre méthode est plus grande que la valeur de température de recuit simulé. Le calcul dans notre méthode s'arrête à cause de la limite de budget. Ça signifie que la méthode que nous avons proposée converge plus vite que le recuit simulé pour ce type d'application.

#### **IV.4 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons proposé une méthode d'optimisation de ressources destinée aux systèmes de production caractérisée par la présence de ressources renouvelables ainsi que de ressources consommables tels que le budget de développement. Ces derniers types de ressource sont caractérisés par le fait qu'une fois utilisée, on ne peut plus faire marche arrière. Un mauvais investissement dans les équipements de production ne peut plus être corrigé lors d'une itération ultérieure. Le budget est dépensé et les nouveaux équipements sont disponibles quelque soit leur efficacité et leur adéquation aux objectifs de l'entreprise.

Notre objectif a été de déterminer la meilleure affectation des ressources consommables, notamment le budget, pour l'acquisition des ressources réutilisables (machines, main d'oeuvre) de telle sorte que la production soit maximisée.

La méthode que nous avons proposée se base sur la technique de recuit simulé avec le choix de paramètres inspiré par les travaux de [Toursi, 06]. Nous avons enrichi cette méthode par la prise en compte d'une nouvelle règle de génération des nouvelles solutions basée sur le taux d'utilisation des ressources. De même, cette méthode est destinée au cas où l'espace des solutions est grand.

Les résultats numériques obtenus nous ont permis de valider notre approche et de montrer son efficacité.

Dans le chapitre suivant nous appliquons cet algorithme pour analyser l'affectation des ressources par rapport à un budget donné et sous l'effet de différentes politiques de contrôle de la qualité.

Nos perspectives de recherche dans ce domaine concernent l'amélioration du paramétrage de la méthode et l'analyse du cas d'un espace de solutions de taille réduite.

Dans le premier cas, nous souhaitons trouver un meilleur paramétrage de l'algorithme. Une première idée est de définir la température initiale et la probabilité de choisir une solution dégradée en fonction du budget disponible.

Concernant le cas des problèmes avec un espace réduit de solutions, nous envisageons le développement d'une approche basée sur le principe de la méthode branch and bound.





## **CHAPITRE V**

*Analyse de différentes politiques de contrôle de la qualité*



## *Chapitre V*

### *Analyse de différentes politiques de contrôle de la qualité*

Dans les chapitres précédents nous avons proposé une méthode pour l'allocation des ressources renouvelables et des ressources consommables dans un système de production soumis à des opérations de contrôle de la qualité. Nous allons dans ce chapitre appliquer cette méthode pour étudier différentes politiques de contrôle de la qualité avec prise en compte du résultat du contrôle par des actions spécifiques.

Nous traiterons trois différents systèmes de contrôle : contrôle par échantillonnage, contrôle avec ressources spécifiques et contrôle par lot.

#### *V.1 Politiques de contrôle*

Nous allons choisir trois types de scénarios de contrôle :

**Scénario 1** : Nous mettons en place un contrôle par échantillonnage qui vise à contrôler 20 pour cent de la production. Ainsi, l'opération de contrôle concerne une pièce sur cinq. Selon le résultat du contrôle, la machine peut faire l'objet d'une opération de réglage qui est effectuée par l'opérateur. Cette politique implique la polyvalence des opérateurs.

**Scénario 2** : Nous appliquons une politique de contrôle par échantillonnage similaire au scénario 1. Par contre, le réglage de la machine nécessite des ressources humaines spécialisées, appelés régleurs. Ainsi, l'opérateur gère la préparation et la mise en marche de la machine, alors que le régleur effectue les opérations de réglage.

**Scénario 3** : Nous appliquons une politique de contrôle par lot. Selon le résultat de ce contrôle, soit nous acceptons toutes les pièces du lot, soit nous les jetons. Pour cela, ici nous allons prendre en compte les nombres des pièces jetées. En même temps, les ressources humaines considérées sont constituées des opérateurs et des régleurs.

Maintenant, nous allons appliquer ces trois scénarios sur l'exemple du système de production que nous avons détaillé dans le chapitre précédent.

## V.2 Méthode utilisée

Dans ce paragraphe, nous détaillons les étapes utilisées pour étudier les avantages et les inconvénients de chaque politique de contrôle proposée en utilisant l'exemple de ligne de fabrication détaillé dans le chapitre précédent.

### V.2.1 Contrôle par échantillonnage et opérateurs polyvalents (scénario 1)

L'application de ce scénario au système de production considéré est représentée par le réseau de Petri illustré dans la Figure V.1. La place  $P_0$  modélise le début de processus de fabrication. Ensuite, l'exécution des activités de préparation est représentée par le franchissement de la transition  $T_0$ . Les activités de préparation peuvent être par exemple : le reçu de matière première, le réglage des machines, ... etc. Nous nous intéressons à deux facteurs pour la prise en compte de l'activité de préparation : la durée de cette activité et la disponibilité des ressources humaines nécessaires. Nous considérons que la machine est en état de blocage temporaire s'il n'y a pas de ressources humaines disponibles. La fin de la préparation est modélisée par le franchissement de la transition  $T_1$ .

Ensuite, le processus de fabrication des pièces fabriquées commence avec le franchissement de la transition  $T_2$ . Nous considérons que la machine réalise le travail automatiquement sans aucune intervention des ressources humaines. En conséquence, cette opération est complètement caractérisée par sa durée. La fin de cette opération est marquée par le franchissement de la transition  $T_3$ .

De plus, nous réalisons les deux étapes précédentes d'une manière consécutive un nombre de fois fixé par la politique d'échantillonnage. Ce comportement est modélisé par le circuit élémentaire  $P_0, T_0, P_1, T_1, P_2, T_2, P_3, T_3, P_4, T_4$ . Le nombre d'exécutions de cette séquence est indiqué par le marquage de la place  $P_8$ . Ceci donne le nombre de pièces successives sans contrôle. Le poids de la flèche qui relie la place  $P_8$  avec la transition  $T_4$  modélise la périodicité du contrôle.

Ensuite, l'opération de contrôle commence par le franchissement de la transition  $T_4$ . Cette opération nécessite également la disponibilité des ressources humaines.

La prise en compte du résultat du contrôle a une influence sur la longueur du temps de cycle. Si le résultat est positif, la production peut continuer. Ce cas est modélisé par le franchissement de la transition  $T_6$ . Par contre, si la valeur du contrôle est négative, alors la production est arrêtée et la machine doit subir une opération de réglage. Ce cas est représenté par le franchissement de la transition  $T_7$ . Le résultat du contrôle de la qualité est une variable aléatoire.

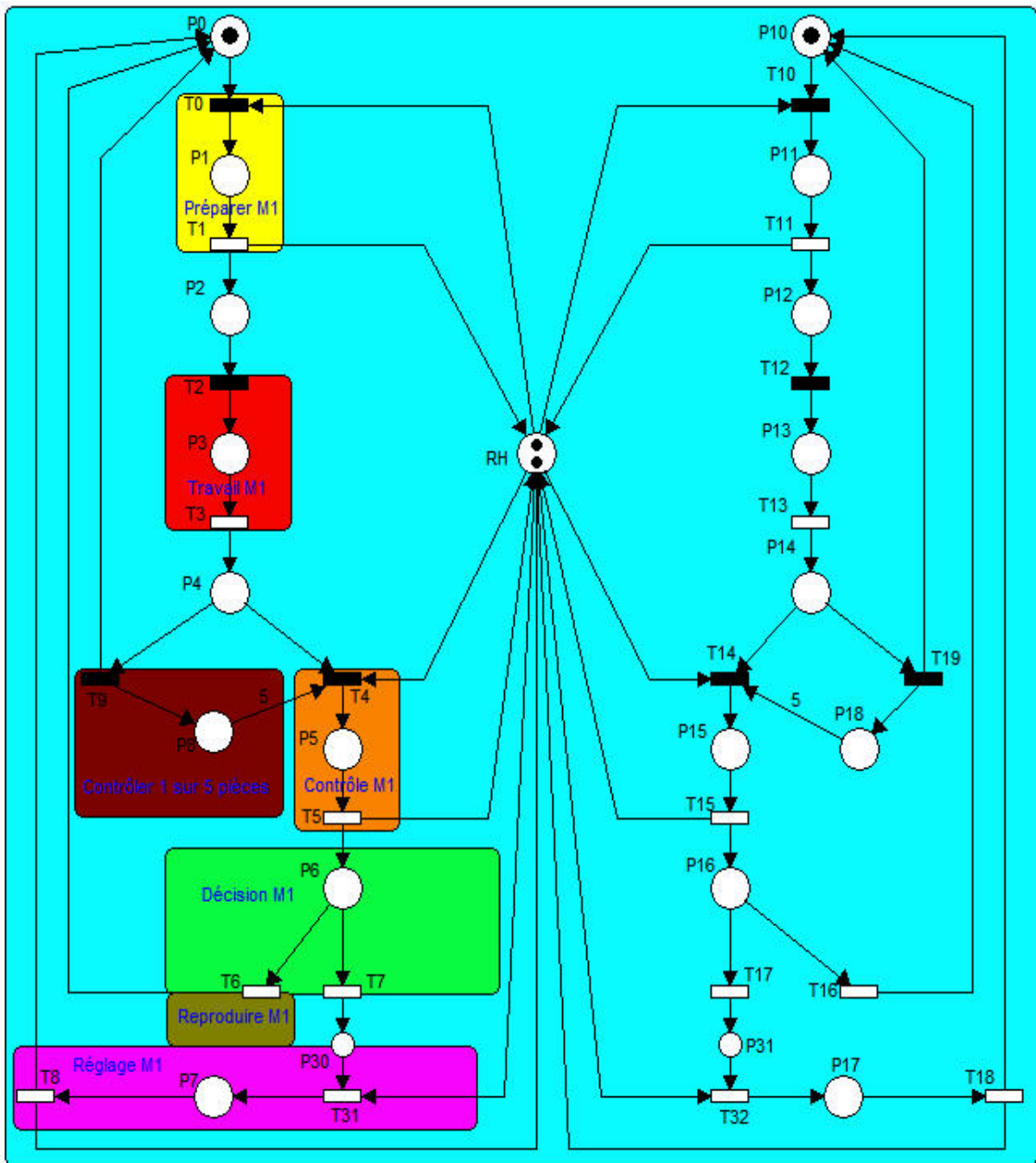


Figure V.1. Contrôle par échantillonnage et ressources polyvalentes

Nous réalisons la simulation du réseau de Petri présenté dans la Figure V.1, selon l'organigramme présentée dans la Figure V.2. La première étape de cet organigramme est l'initialisation des paramètres nécessaires pour la simulation. Ces paramètres sont :

- ❑ R : le nombre de ressources humaines ;
- ❑ M : le nombre de machines ;
- ❑ T : le temps ;
- ❑ Tmax : la durée maximale de la simulation ;
- ❑ VD : une variable aléatoire qui définit le résultat du contrôle ;

- PM : le vecteur des durées de préparation de machines ;
- WM : le vecteur des durées de traitement sur les machines ;
- CM : le vecteur des durées des opérations de contrôle des pièces ;
- RM : le vecteur des durées des opérations de réglage de machines ;
- $y$  : le ratio de contrôle ;
- $x$  : le valeur de décision ;
- rPM : les compteurs du temps résiduel de préparation de chaque machine ;
- rWM : les compteurs du temps résiduel de travail de chaque machine ;
- rCM : les compteurs du temps résiduel de contrôle de chaque machine ;
- rRM : les compteurs du temps global de réglage de chaque machine ;
- $M$  : définit l'état de la machine (0 = préparation ; 1 = travail ; 2 = contrôle et 3 = réglage) ;
- $N_p$  : nombre de pièces fabriquées entre deux opérations de contrôle.

L'activité sur une machine commence avec la préparation. Par conséquent, nous initialisons les compteurs du temps résiduel de préparation à 0 et l'état de machine également à 0. De plus, il faut préciser s'il y a des opérateurs disponibles, nous pouvons déclencher les activités de préparation, sinon il y a un blocage temporaire.

Ensuite, une fois que la préparation de la machine est achevée, elle exécute le traitement sur la pièce. Dans ce cas,  $M=1$  et le compteur de temps résiduel de travail sont initialisés à 0. Dans cette étape, nous réalisons les pièces fabriquées  $N_p$ . Il faut préciser que dans notre exemple d'application, nos machines sont automatiques, pour cela, elles ne nécessitent pas la disponibilité des opérateurs pour la fabrication proprement dite.

Cependant, lorsque le nombre de pièces fabriquées atteint un multiple du ratio de contrôle  $y$ , alors nous déclenchons les activités de contrôle. Sinon, nous commençons un nouveau cycle, et nous incrémentons le temps de simulation  $T = T + \min$  (compteurs de temps résiduel).

Dans cette l'étape de contrôle nous générons une variable de décision aléatoire  $VD$ , si sa valeur est inférieure à la valeur de décision ( $x$ ), il faut déclencher les activités de réglage. Sinon, nous pouvons recommencer la production et nous exécutons une nouveau cycle avec augmentation du temps de simulation  $T = T + \min$  (compteur de temps résiduel).

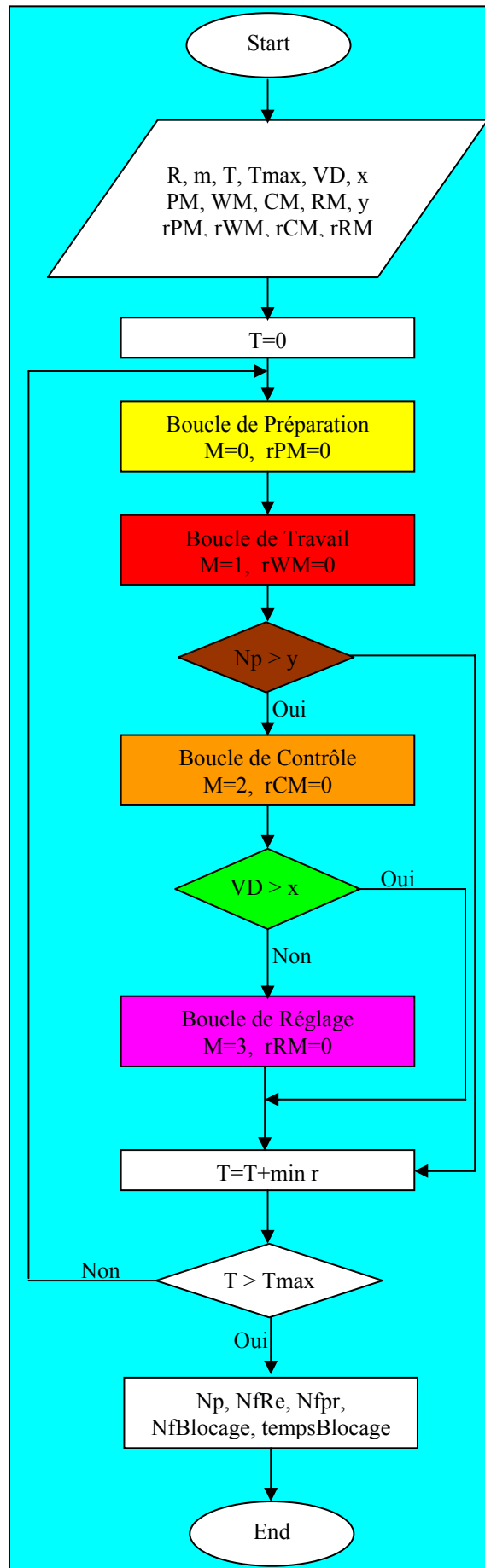


Figure V.2. Organigramme de simulation de RdP correspondant au scénario 1



Nous continuons la simulation jusqu'au moment où le temps de simulation dépasse le temps de simulation maximum. Dans notre exemple d'application, le temps de simulation maximum est 1600 Heurs de travail, c'est-à-dire environs une année de travail. A la fin de simulation nous enregistrons les valeurs suivantes :  $N_p$ , nombre de pièces ;  $N_{fRe}$ , nombre d'actions de réglage effectuées ;  $N_{fpr}$ , nombre d'opérations de contrôle passées avec succès ;  $N_{fBlocage}$ , nombre de blocages temporaires et  $tempsBlocage$ , la durée cumulée des blocages temporaires. Nous utilisons ces valeurs pour analyser les différences de politiques de contrôle.

**V.2.2 Contrôle avec régleur (scénario 2)**

La Figure V.3 montre ce type de scénario. Nous proposons ce type de contrôle parce que, suite à des expériences numériques, nous observons que le ratio de blocage dans le scénario 1 représente un pourcentage important du temps de simulation. Ceci nous fait penser que l'utilisation des ressources humaines spécialisées pour effectuer certaines opérations, comme par exemple le réglage, pourrait augmenter la durée d'activité des machines.

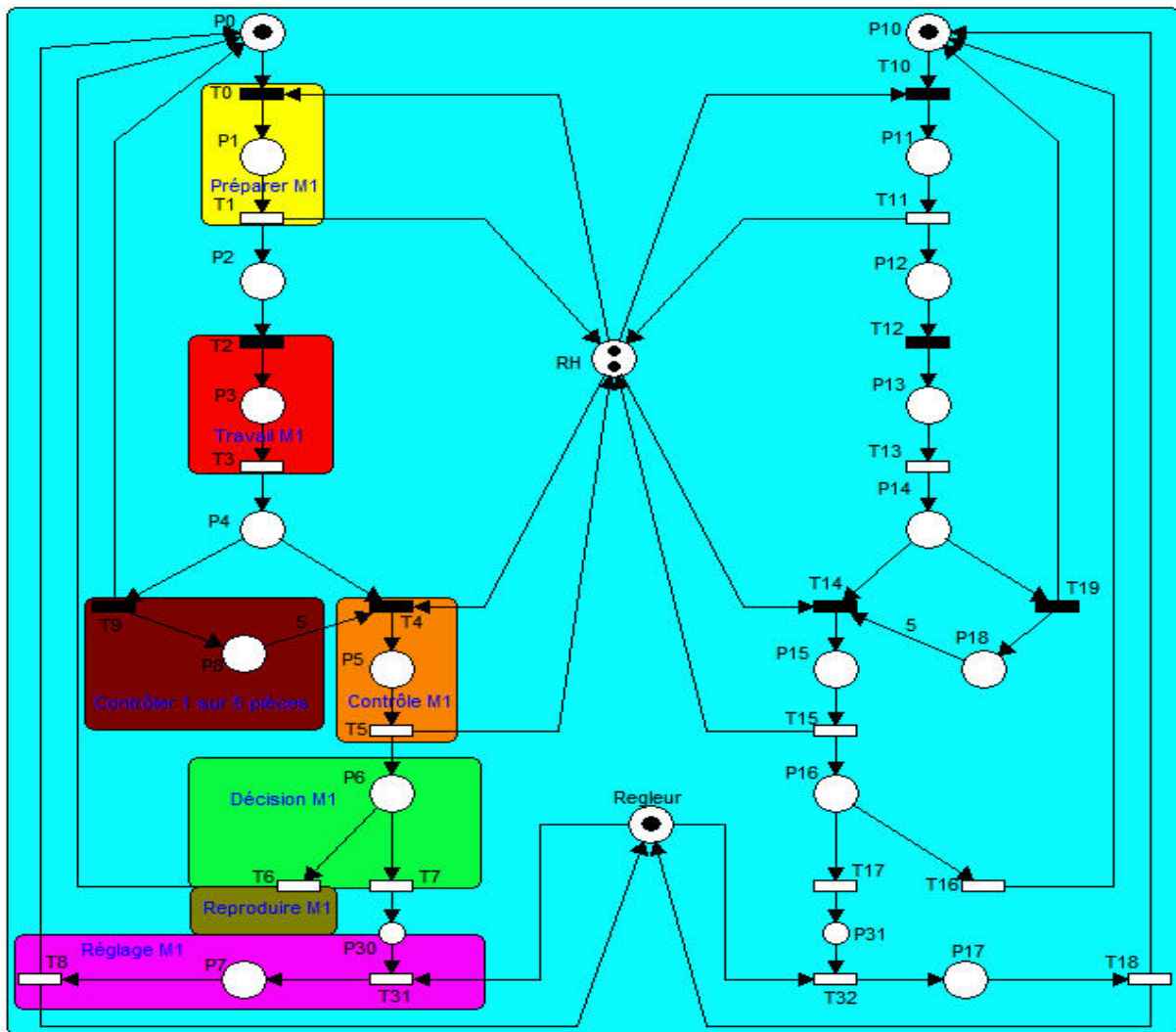


Figure V.3. Contrôle avec régleur

Dans ce politique de contrôle, les opérateurs réalisent les activités de préparation et les activités de contrôle. Par contre, les régleurs effectuent les opérations de réglage des machines. En conséquence, nous allons diminuer la durée d'inactivité des machines grâce à l'augmentation des ressources (Opérateurs, Régleurs).

Nous utilisons l'organigramme présenté dans la Figure V.2 pour réaliser la simulation de ce type de politique.

**V.2.3 Contrôle par lot (scénario 3)**

La Figure V.4 présente ce scénario. Dans les deux scénarios précédents nous contrôlons une pièce sur 5 ou une pièce sur 4, mais ici nous allons faire un contrôle par lot, c'est-à-dire nous contrôlons chaque 100 pièces, puis selon la valeur de décision soit nous acceptons toutes les pièces ou soit nous allons jeter toutes les pièces.

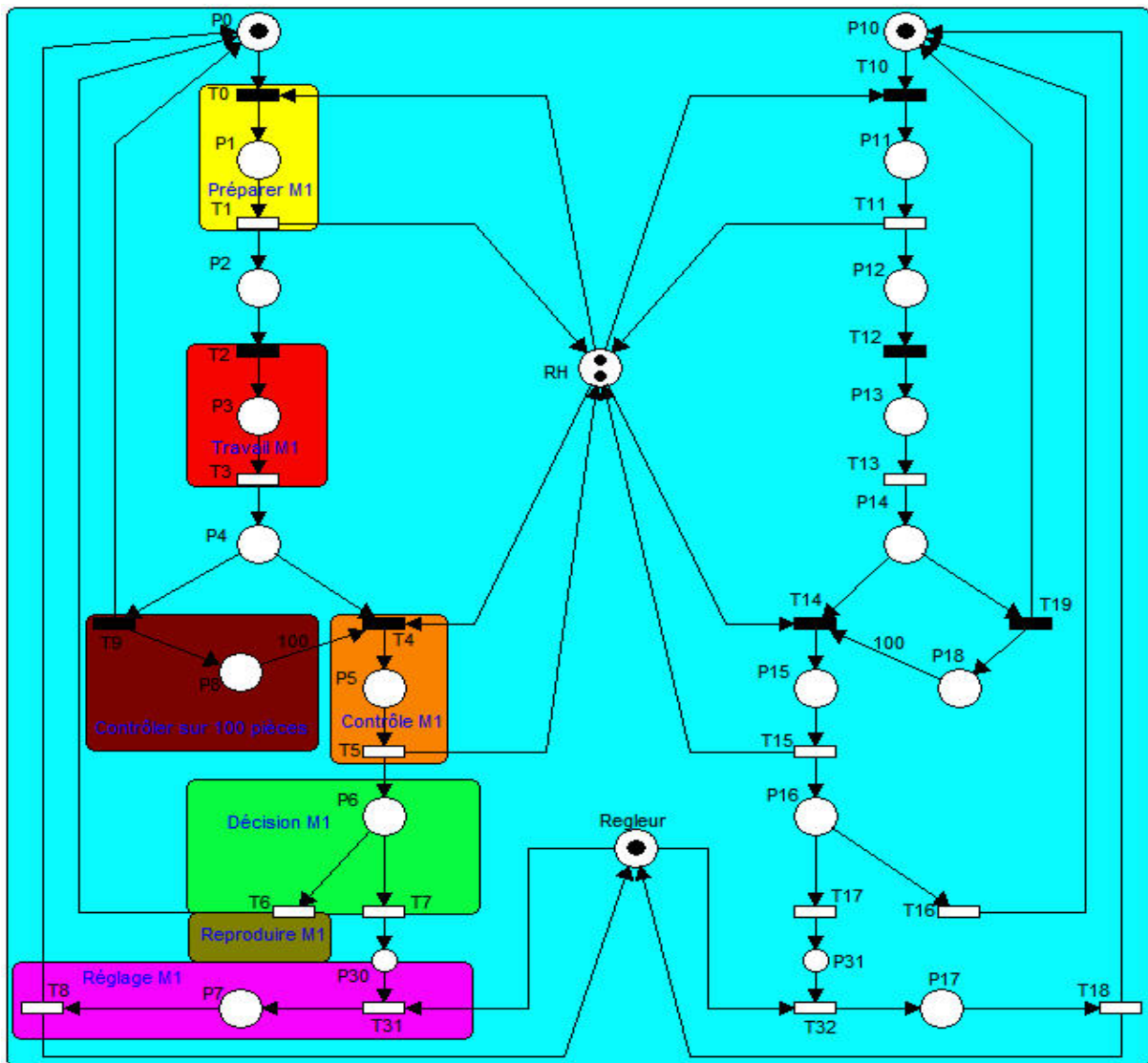


Figure V.4. Contrôle par lot

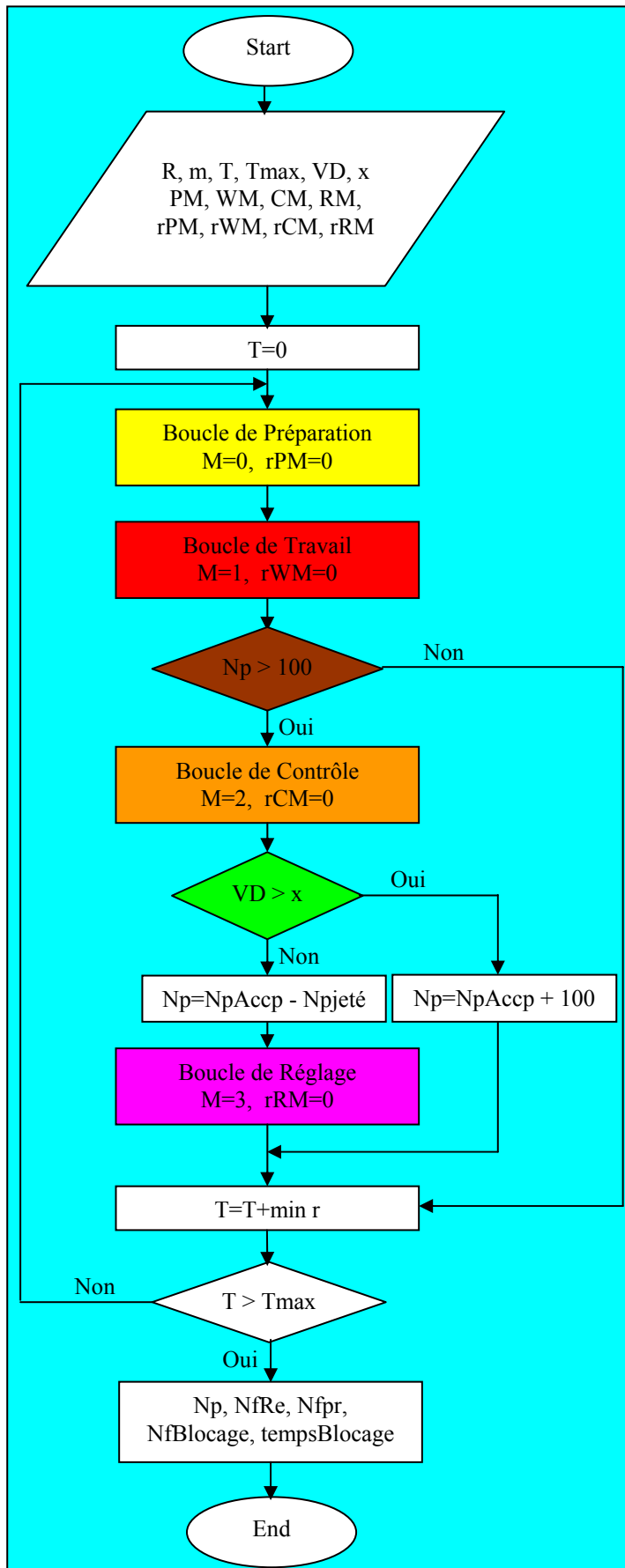


Figure V.5. Organigramme de simulation de RdP correspondant au scénario 3

La Figure V.5 présente la simulation du réseau correspondant à ce type de contrôle. Ce que nous avons ajouté dans cet organigramme ce sont les étapes après la valeur de décision. Si la variable aléatoire de contrôle (VD) est inférieure à la valeur de décision ( $x$ ), alors nous avons nécessité de réglage ; pour cela nous allons jeter toutes les pièces fabriquées selon cette politique de contrôle. Le nombre des pièces fabriquées  $N_p$  est égal au nombre de pièces fabriquées acceptées moins de nombre de pièces fabriquées jetées :  $N_p = N_{pAccp} - N_{pjeté}$ . Dans le cas contraire, la production peut continuer et nous acceptons toutes les pièces fabriquées :  $N_p = N_{pAccp} + 100$ .

### V.3 Méthode d'optimisation

Après avoir expliqué le modèle de simulation adopté pour les scénarios proposés, nous nous basons sur l'algorithme d'optimisation proposé dans le quatrième chapitre pour optimiser les ressources par rapport à un budget donné afin de maximiser la productivité pour chaque scénario.

Les paramètres utilisés sont : un budget de 500000 unités et la durée du calcul est 1600 heures de travail, c'est-à-dire presque une année de travail. Les paramètres vérifiés pour chaque scénario sont : la productivité, le ratio de temps de blocage et le ratio de temps de réglage. Nous avons choisi ces paramètres car nous pouvons améliorer la solution optimale en augmentant la productivité ou en diminuant le temps de blocage ou de réglage.

La solution optimale pour chaque scénario proposé est :

Scénario 1 : 38 Machines et 14 Opérateurs ;

Scénario 2 : 35 Machines et 12 Opérateurs et 5 Régleurs ;

Scénario 3 : 35 Machines et 12 Opérateurs et 5 Régleurs ;

Enfin, nous précisons la façon de calculer les paramètres vérifiés :

$$\text{Productivité : } \frac{\text{Nombre de pièces fabriquées}}{\text{Temps de simulation}} ;$$

$$\text{Ratio de temps de blocage : } \frac{\text{Moyenne de temps de blocage}}{\text{Temps de simulation}} ;$$

$$\text{Ratio de temps de réglage : } \frac{\text{Moyenne de temps de réglage}}{\text{Temps de simulation}} .$$

### V.4 Résultats numériques

En utilisant la ligne de fabrication détaillée dans le chapitre précédent comme exemple d'application, nous trouvons les résultats numériques suivants :

#### Résultat de contrôle par échantillonnage et opérateurs polyvalents (scénario 1)

Il faut indiquer que nous inspectons les différentes politiques de contrôle après l'étape d'optimisation car nous cherchons la possibilité d'améliorer le système étudié, pour cela nous avons appliqué notre méthode d'optimisation détaillée dans le chapitre précédent sur cette politique de contrôle, nous avons trouvé la solution optimale est 38 machines et 14 ressources (type opérateurs seulement). Nous avons appliqué le modèle de simulation illustré dans la Figure V.2. L'évolution de productivité est donnée dans la Figure V.6.

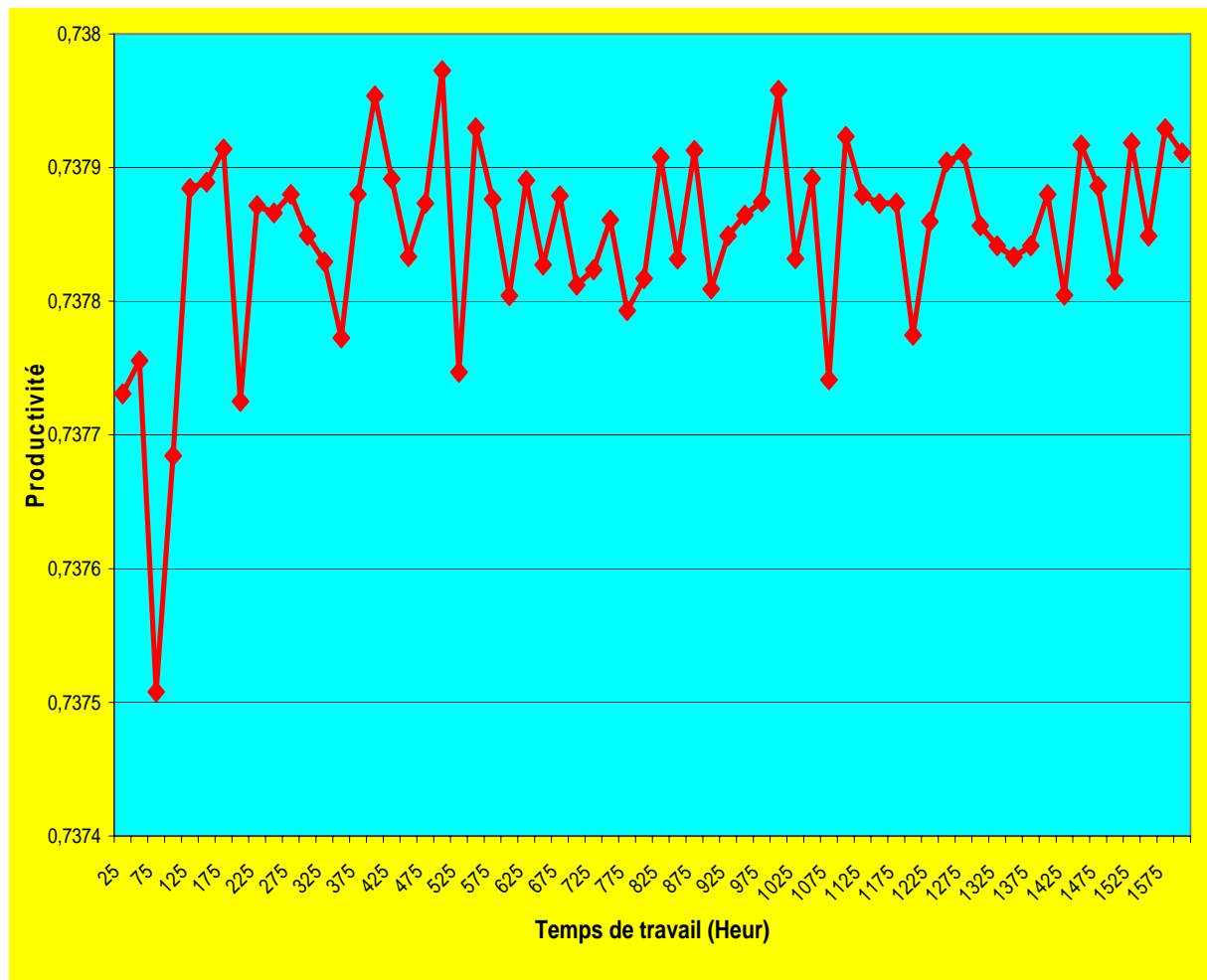


Figure V.6. Evolution de productivité dans le scénario 1

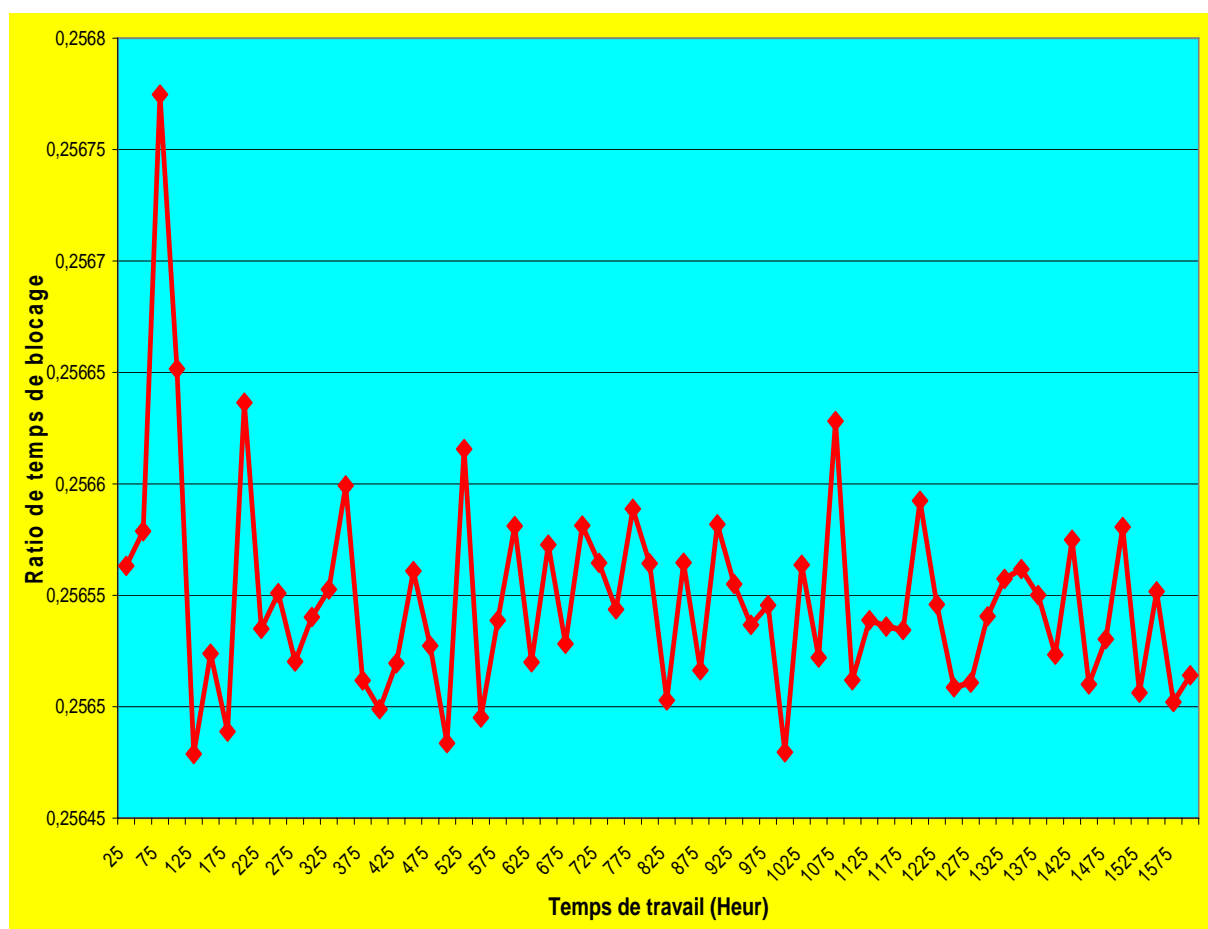


Figure V.7. Changement de ratio de blocage dans le scénario 1

M	R	Temps	Productivité	Moyenne de temps de blocage	Ratio de temps de blocage
38	14	25	0,737730864	23090,7	0,25656
38	14	100	0,737684414	92394,6	0,25665
38	14	150	0,737889198	138523	0,25652
38	14	200	0,737725077	184778	0,25664
38	14	300	0,737849228	277063	0,25654
38	14	450	0,737833333	415629	0,25656
38	14	500	0,737972438	461671	0,25648
38	14	1000	0,737957855	923326	0,25648
38	14	1200	0,737774614	1108479	0,25659
38	14	1500	0,737815874	1385536	0,25658
38	14	1550	0,737848865	1431559	0,25655
38	14	1575	0,737928993	1454367	0,2565
38	14	1600	0,737911101	1477521	0,25651

Tableau V.1. Résultats de simulation de scénario 1

**Résultat de contrôle avec régleurs (scénario 2)**

Nous avons proposé cette politique de contrôle parce que nous avons trouvé que le ratio de blocage dans la politique précédente est d'environ 26% du temps de simulation ; pour cela nous avons ajouté des ressources spécifiques (régleurs) pour diminuer le temps de blocage dû au manque de ressources. Nous pouvons observer l'évolution de productivité en présence de ressources spécifique (Figure V.8). Nous voyons bien l'amélioration de productivité grâce aux ressources spécifiques, la productivité arrivant environ jusqu'au 75%, donc supérieure par rapport au scénario précédent.

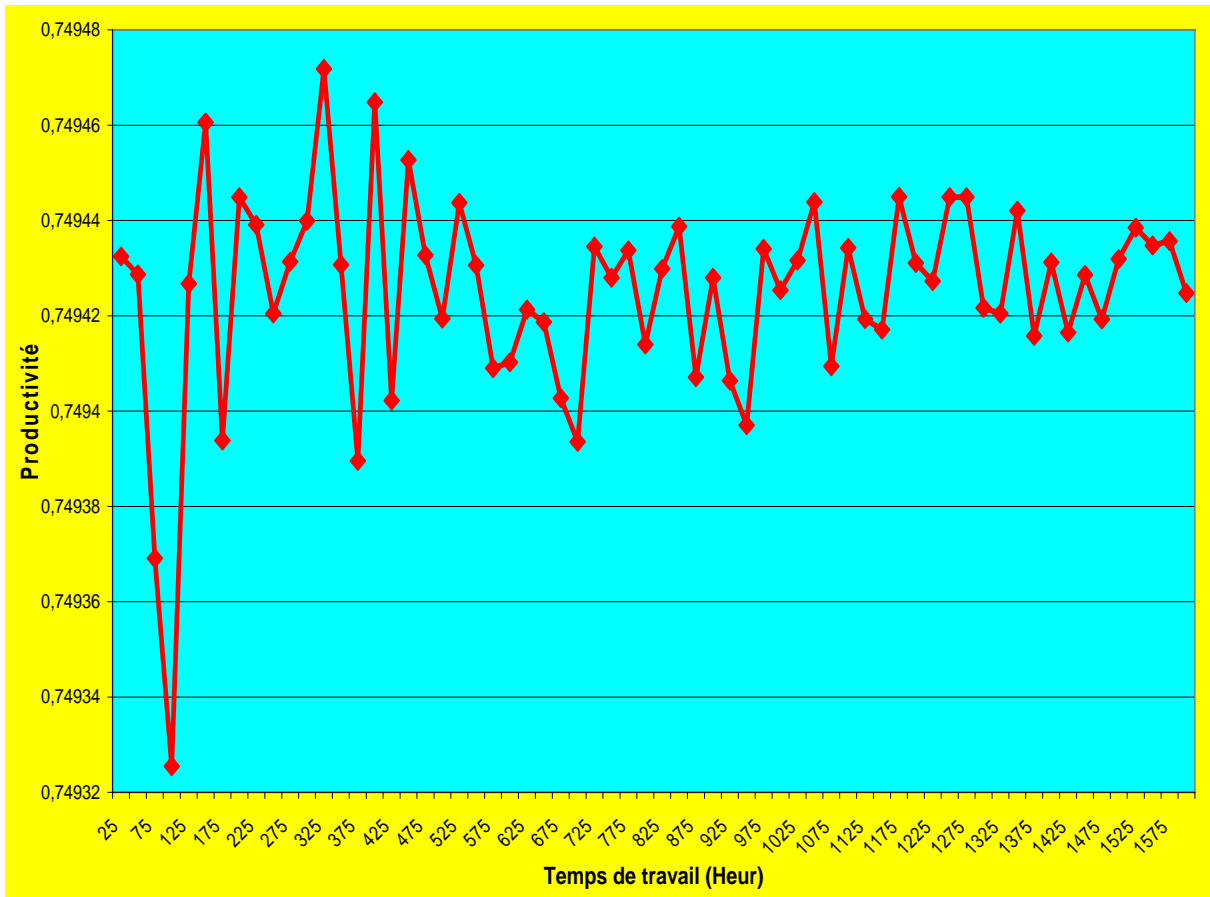


Figure V.8. Evolution de productivité dans le scénario 2

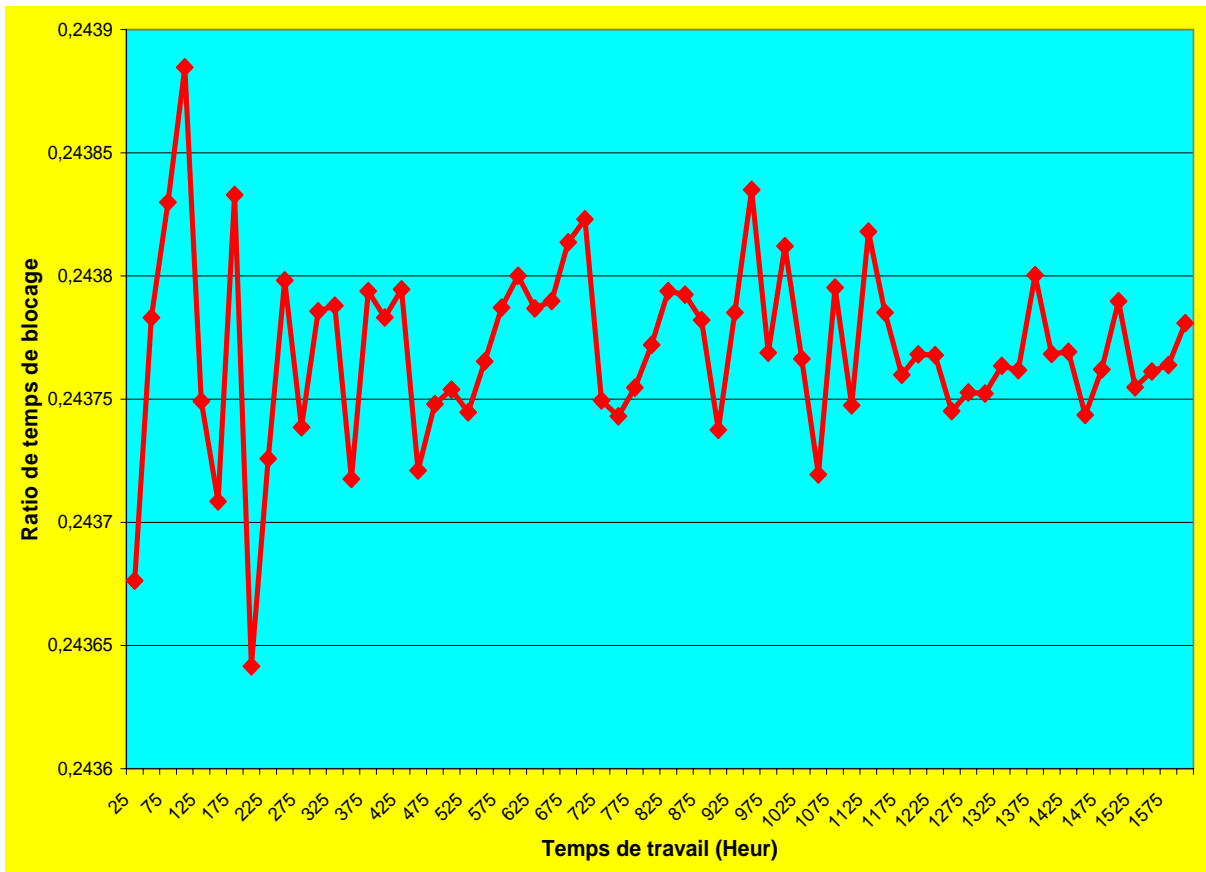


Figure V.9. Changement de ratio de blocage dans le scénario 2

M	R	Re	Temps	Productivité	Moyenne de temps de réglage	Ratio de temps de réglage	Moyenne de temps de blocage	Ratio de temps de blocage
35	12	5	25	0,749432479	7064,32	0,07849	21930,9	0,24368
35	12	5	100	0,74932547	28235,9	0,07843	87798,5	0,24388
35	12	5	150	0,749460627	42394,9	0,07851	131603	0,24371
35	12	5	200	0,749444872	56611,5	0,07863	175422	0,24364
35	12	5	300	0,749439943	84710,1	0,07844	263289	0,24379
35	12	5	450	0,749452726	127174	0,0785	394828	0,24372
35	12	5	500	0,749419385	141342	0,07852	438757	0,24375
35	12	5	1000	0,749425368	282333	0,07843	877724	0,24381
35	12	5	1200	0,749431068	339046	0,07848	1053079	0,24377
35	12	5	1500	0,749431909	423624	0,07845	1316465	0,24379
35	12	5	1550	0,749434784	437920	0,07848	1360188	0,24376
35	12	5	1575	0,749435691	444994	0,07848	1382141	0,24376
35	12	5	1600	0,749424797	452015	0,07847	1404178	0,24378

Tableau V.2. Résultats de simulation de scénario 2



### Résultat de contrôle par lot (scénario 3)

La Figure V.10 indique le changement de ratio de temps de réglage dans le contrôle par lot, nous voyons l'augmentation de ratio de réglage dans le début de cette courbe car nous contrôlons ici chaque 100 pièces.

De plus, nous avons calculé le ratio de temps de réglage comme suit :

$\frac{\text{Moyenne de temps de réglage}}{\text{Temps de simulation}}$ , en sachant que le temps de simulation est 1600 Heurs de

travail.

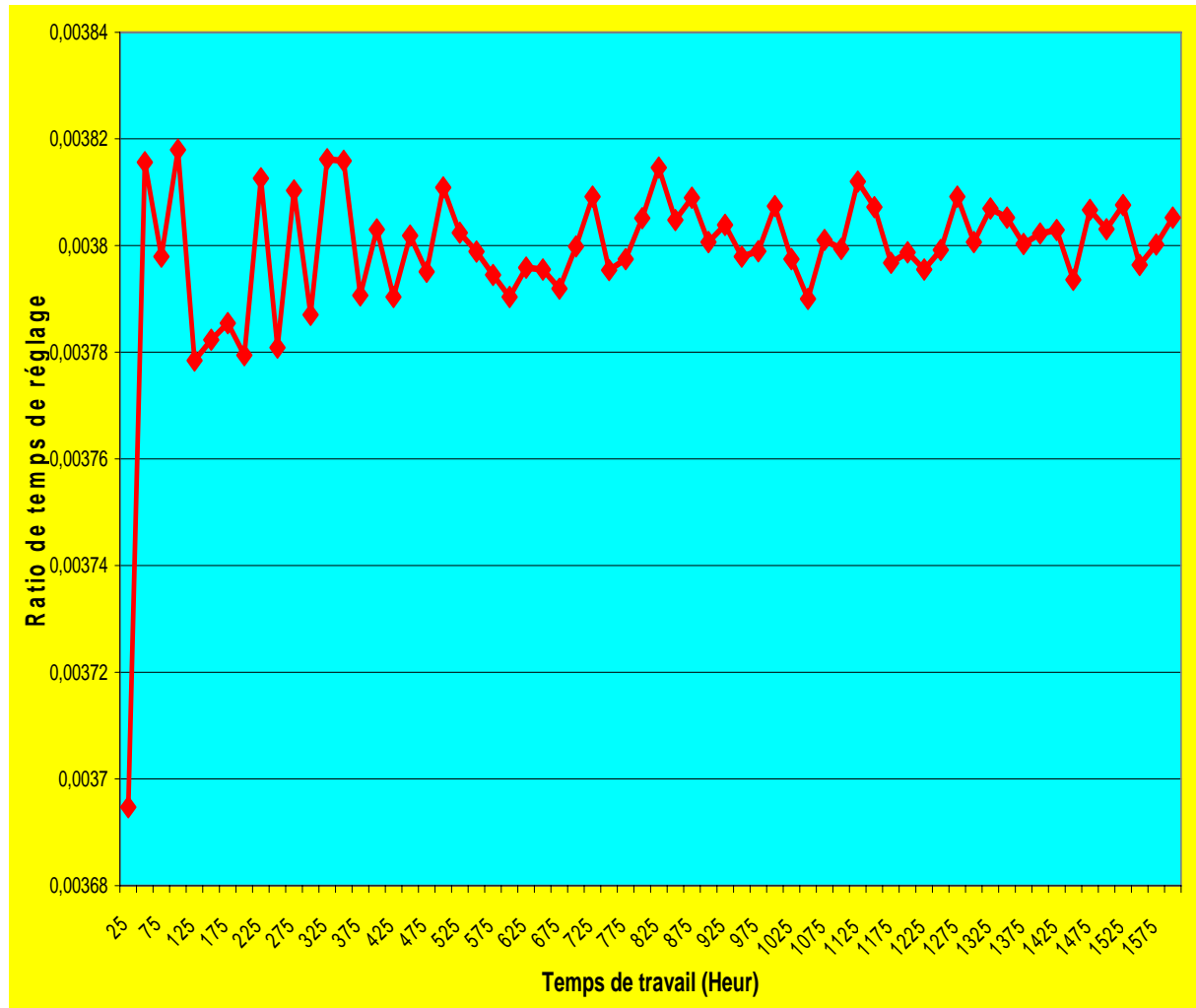


Figure V.10. Changement de ratio de réglage dans le scénario 3

Cependant, nous pouvons remarquer la même augmentation de la valeur de ratio de temps de blocage dans la Figure V.11.

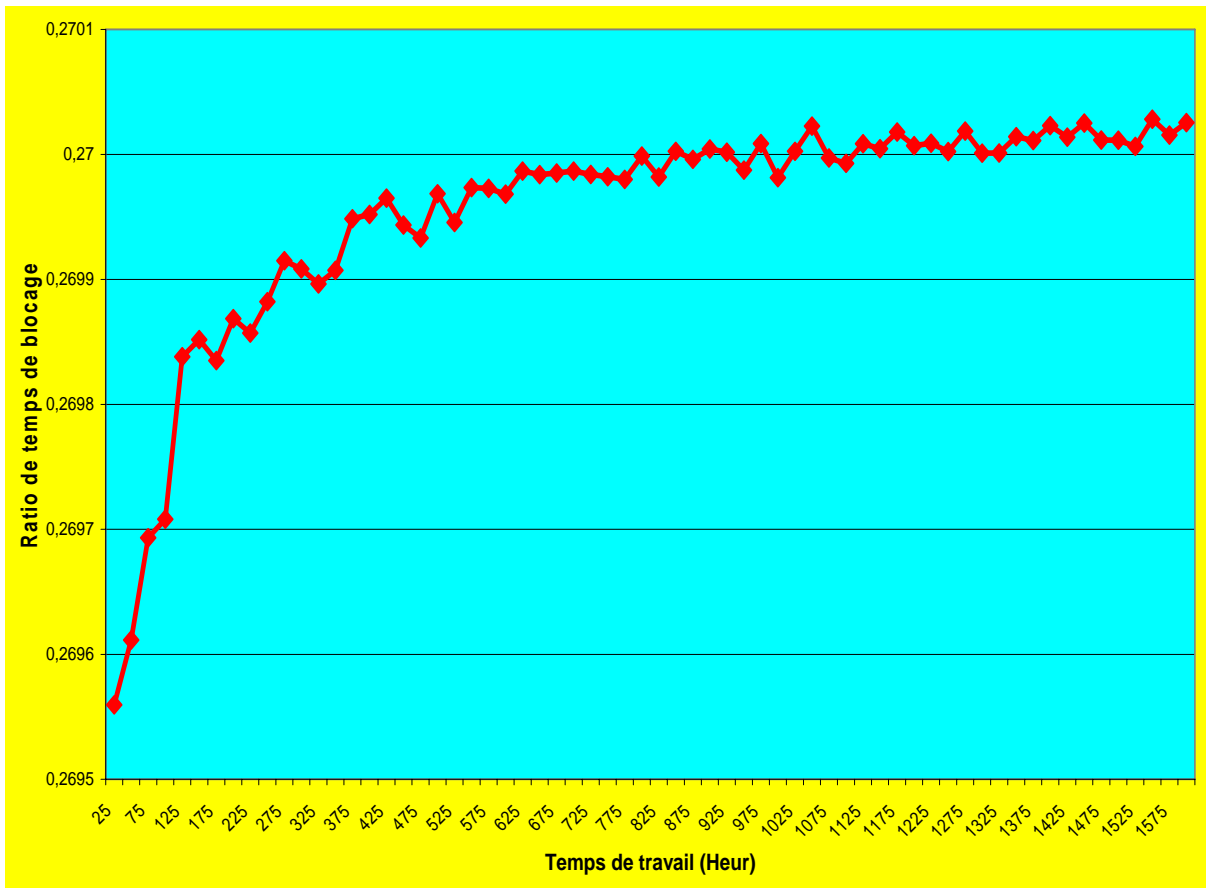


Figure V.11. Changement de ratio de blocage dans le scénario 3

M	R	Re	Temps	Productivité	Moyenne de temps de réglage	Ratio de temps de réglage	Moyenne de temps de blocage	Ratio de temps de blocage
35	12	5	25	0,750136111	332,526	0,00369	24260,4	0,26956
35	12	5	100	0,73322338	1374,46	0,00382	97094,9	0,26971
35	12	5	150	0,737816821	2042,47	0,00378	145720	0,26985
35	12	5	200	0,738072685	2721,22	0,00378	194305	0,26987
35	12	5	300	0,73709375	4090	0,00379	291501	0,26991
35	12	5	450	0,734978241	6159,05	0,0038	437308	0,26994
35	12	5	500	0,733726111	6859,63	0,00381	485944	0,26997
35	12	5	1000	0,734295579	13706,6	0,00381	971933	0,26998
35	12	5	1200	0,735271508	16410,6	0,0038	1166430	0,27001
35	12	5	1500	0,734672824	20536,5	0,0038	1458061	0,27001
35	12	5	1550	0,735538829	21183,9	0,0038	1506757	0,27003
35	12	5	1575	0,734944459	21547,1	0,0038	1530988	0,27002
35	12	5	1600	0,734337804	21918,3	0,00381	1555346	0,27003

Tableau V.3. Résultats de simulation de scénario 3

### V.5 Comparaison

Dans cette partie, nous allons faire une comparaison entre les trois scénarios. Nous commençons par comparer la productivité. La Figure V.12 montre que le meilleur résultat de la productivité de contrôle est obtenu en utilisant des ressources spécifiques (scénario 2). Nous pouvons aussi marquer la chute de productivité en utilisant le contrôle par lot, de plus les deux scénarios (1 et 3) ont presque le même résultat avec une évolution de la productivité plus stable pour le scénario 1.

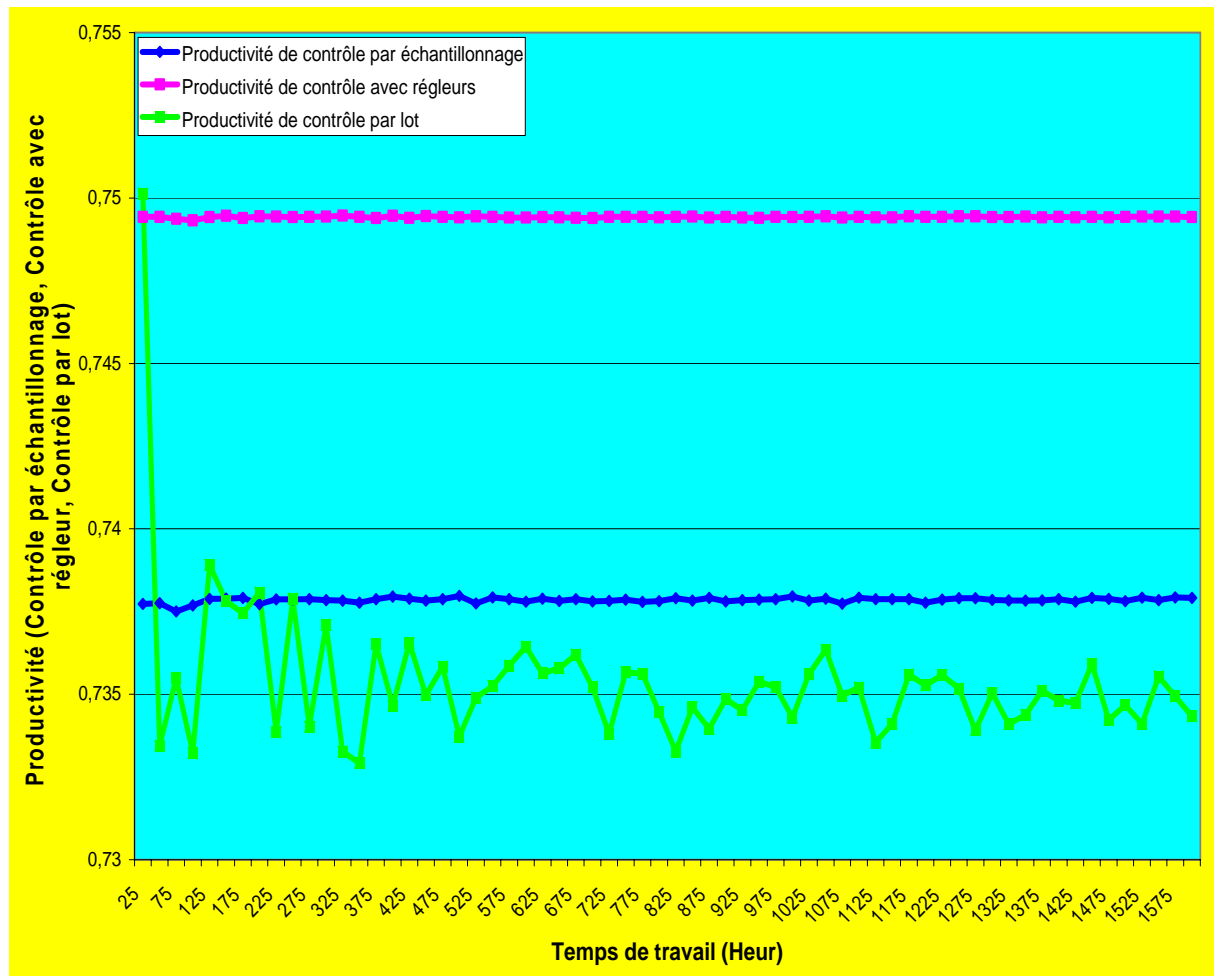


Figure V.12. Comparaison la productivité entre les différents scénarios

La Figure V.13 indique le ratio de temps de blocage entre les trois types de scénarios proposés. La valeur la plus basse est obtenue pour le scénario 2, avec des ressources spécifiques. Grâce à ce résultat nous pouvons remarquer la force d'utiliser des ressources spécifiques car ces ressources diminuent le temps de blocage. Par contre, ces ressources spécifiques sont plus chères que les autres, pour cela nous ne pouvons pas garantir l'efficacité du type de contrôle avec des ressources spécifiques avant d'analyser le compromis entre les gains de productivité et les coûts de ressources spécifiques.

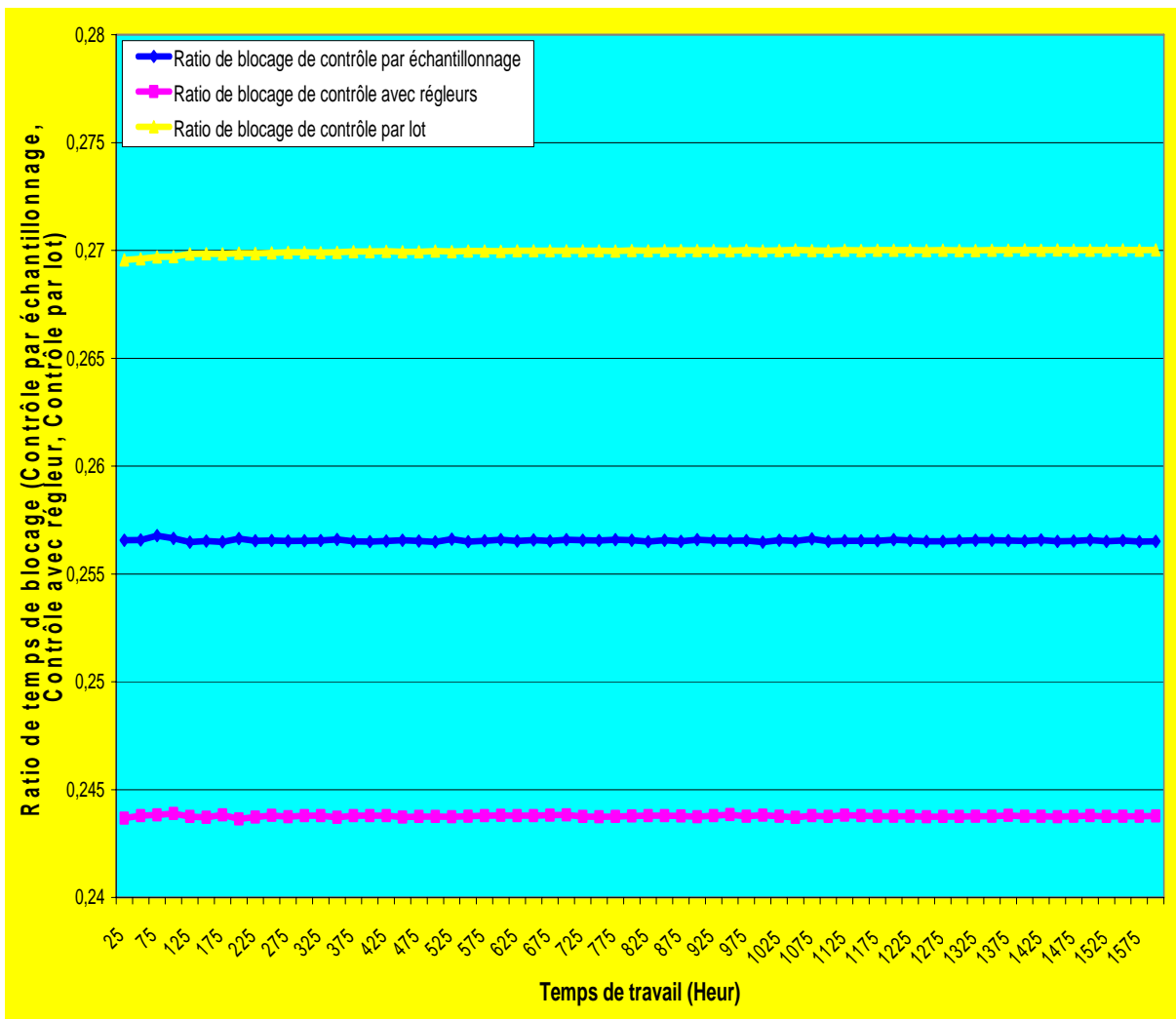


Figure V.13. Comapraison le ratio de temps de blocage entre les différents scénarios

Nous présentons la Figure V.14 pour avoir de plus des indications entre les trois types de scénarios proposés. Nous avons essayé de comprendre le changement de ratio de temps de réglage entre les trois types de scénarios. Le contrôle par lot et le contrôle avec des ressources spécifiques sont plus bas que le contrôle par échantillonnage avec ressources polyvalentes. En conséquence, nous remarquons que le contrôle avec des ressources spécifiques est toujours le meilleur contrôle. Finalement, nous comparons le ratios de réglage des différents scénarios dans le Tableau V.4.

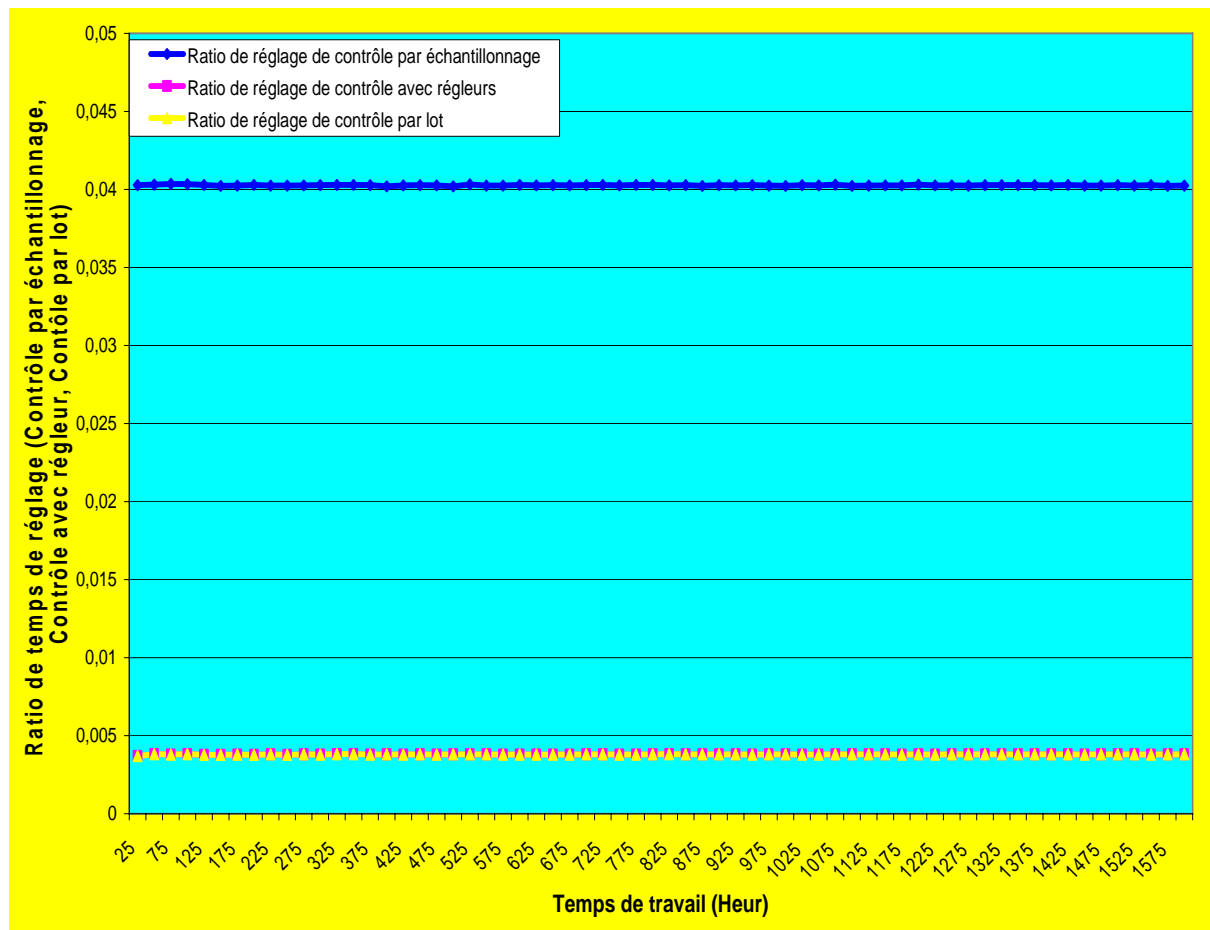


Figure V.14. Comparaison de ratio de temps de réglage entre les différents scénarios

Politique de contrôle	Solution optimale			Coût	Productivité		Ratio de blocage	
	M	R	Re		Max	Min	Max	Min
Contrôle par échantillonnage	38	14	-	498000	0,737972	0,737508	0,256775	0,256479
Contrôle avec régleurs	35	12	5	496000	0,749472	0,749325	0,243885	0,243642
Contrôle par lot	35	12	5	496000	0,750136	0,732919	0,270028	0,269560

Tableau V.4. Comparaison entre les scénarios

### V.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié trois scénarios pour le contrôle de la qualité de production (le contrôle par échantillonnage et ressources polyvalentes, le contrôle en utilisant des ressources spécifiques (régleurs) et le contrôle par lot) sur la base de l'exemple présenté dans le chapitre 4. Nous avons présenté les mesures de performance choisies ainsi que le modèle de simulation adopté. Nous avons optimisé les ressources afin de maximiser la

productivité par rapport à un budget donné. Ensuite nous avons comparé les performances des scénarios proposées.

Nous avons pu constaté que le scénario 2, qui propose l'utilisation des ressources spécifiques pour effectuer certaines opérations, est plus efficace que les autres scénarios analysés grâce à l'amélioration de productivité et à la diminution de temps de blocage. Par contre, ce résultat a été obtenu en ignorant le coût plus important engendré par la spécialisation des ressources.

Par la suite, il serait intéressant d'analyser l'influence de ce coût sur la performance des scénarios proposés.



## **CONCLUSION GENERALE**





## *Conclusion Générale*

L'objectif des travaux de recherche dont avons rendu compte dans ce mémoire est de proposer une méthodologie pour la mise en place d'un système de management de la qualité dans un système de production. Un principe fondamental de la qualité est d'éliminer le gaspillage. Par conséquent, nous avons apporté une attention particulière à l'analyse de ce système et à l'affectation des ressources disponibles afin de maximiser ses performances.

Les principales contributions de notre activité de recherche présentée dans ce mémoire sont les suivantes :

1) Nous avons proposé une méthodologie en dix étapes pour la mise en place d'un système de management de la qualité dans un système de production.

2) Nous avons développé une approche formelle pour analyser la cohérence fonctionnelle d'un système de management de la qualité dans la production basée sur les outils de la famille IDEF. Les outils de la famille de IDEF nous aident bien à comprendre les interactions entre les différentes tâches et nous donnent une représentation fonctionnelle claire du système étudié. Par contre, ils ne permettent pas de mettre en évidence le comportement dynamique. Par conséquent, il faut créer un modèle dynamique à partir des spécifications formelles.

3) Nous avons développé un algorithme de construction du modèle de réseaux de Petri à partir d'un modèle SADT et des spécifications formelles du système étudié. L'objectif de cette démarche est d'analyser le comportement dynamique du système à l'aide des outils spécifiques. Nous avons également proposé une deuxième approche basée sur le modèle SADT temporel et l'analyse des propriétés du système à travers la simulation. Nous avons comparé ces approches et nous avons choisi la première pour la suite de nos travaux.

4) Un des enjeux majeurs d'un système de management de la qualité est d'utiliser au mieux les ressources disponibles pour atteindre les objectifs fixés. Un problème très important dans ce type de système est comment utiliser au mieux le budget disponible afin de maximiser les performances du système. Pour résoudre cette difficulté, nous avons proposé une méthode d'affectation des ressources par rapport à un budget disponible basée sur un algorithme de recuit simulé modifié. Cette méthode est dédiée aux problèmes caractérisés par un espace de solutions de grande taille. Dans la réalité industrielle, cette situation correspond au cas où le budget disponible est très important par rapport à la valeur de chaque type de ressource. Nous avons appliqué cette méthode pour étudier différentes politiques de contrôle de la qualité dans un système de production.

Une perspective immédiate de notre activité de recherche est de développer un algorithme d'affectation des ressources pour le cas où l'espace d'état est de taille réduite.

De même, nous envisageons de tester d'avantage de scénarios de contrôle de la qualité et des lois statistiques afin de mettre en point un logiciel d'aide à la décision pour l'affectation des ressources dans les systèmes de management de la qualité.

Enfin, il serait intéressant d'étudier d'une manière approfondie la possibilité de développer une approche basée sur l'outil SADT temporel pour l'analyse du comportement dynamique et l'optimisation d'un système de management de la qualité.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**



## Références Bibliographiques

### A

- [Afnor, 02] Afnor, Management de la qualité- ISO 9000- méthodes- outils-système- documentaire- évaluation- satisfaction client, AFNOR, Paris, 2002.
- [Afnor, 92] Afnor, Gérer la qualité : concepts et terminologie, tome 1, AFNOR, paris, 1992.
- [Alahmad, 05a] K. Alahmad, A. Sava, C. Clementz, P. Padilla, Étude de mise en place d'un SMQ dans le service maintenance d'une centrale thermique : recherche de formalisation de l'interaction entre processus, 6ème congrès international de génie industriel à Besançon, 2005.
- [Alahmad, 05b] K. Alahmad, A. Sava, C. Clementz, P. Padilla. Deux méthodes pour la modélisation et le pilotage du système de management de la qualité, Revue internationale d'ingénierie des systèmes de production, novembre 2005.
- [Alahmad, 06a] K. Alahmad, A. Sava, C. Clementz, P. Padilla. Approche formelle pour la modélisation et l'analyse des processus, CIFMA01, Alep, Syrie, 2006.
- [Alahmad, 05b] K. Alahmad, A. Sava, C. Clementz, P. Padilla. Modelling and design of quality management system based on SADT and petri net tools, 15th International Conference on Manufacturing Systems – ICMaS, Bucharest, Romania, October 2006.
- [Andradottir, 98a] S. Andradottir, A review of simulation optimization techniques, Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, 151-158, 1998.
- [Andradottir, 98b] S. Andradottir, Simulation optimization. In Handbook on Simulation, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1998.
- [Anis, 04] A. Anis, Composants pour la modélisation des processus métier en productique, basés sur CIMOS, thèse de doctorant, université de Metz, 2004.

### B

- [Bailin, 89] S. C. Bailin, An object-oriented requirements specification methode. ACM, vol. 32, N° 5, 608-623, 1989.
- [Bennour, 04] M. Bennour, Contribution à la Modélisation et à l'Affectation des Ressources Humaines dans les Processus, thèse de doctorant, Université Montpellier II, 2004.
- [Boterf, 98] G. Le Boterf, l'ingénierie des compétences, Editions d'organisation, 1998.

**C**

- [Caby, 00] F. Caby, C. Jambart, La qualité dans services : fondements, témoignages, outils, Economica, 2000.
- [Cai, 02] D. Q. Cai, M. Xie, T.N. Tang, Economic design of control chart for trended processes, Int. J. Production Economics, 85-92, 2002.
- [Campos, 92] J. Campos, G. Chiola, J. M. Colom, M. Silva, Properties and Performance Bounds for Timed Marked Graphs, 1992.
- [Camus, 97] H. Camus, Conduite de Systèmes flexibles de Production manufacturière par Composition de Régimes Permanents cycliques: Modélisation et Evaluation de Performances à l'aide des Réseaux de Petri, Thèse de doctorant, université des Sciences et technologies de Lille, 1997.
- [Cattan, 03] M. Cattan, N. Idrissi, P. Knockaert, Maîtriser les processus de l'entreprise, éditions d'organisation, 2003.
- [Cauvin, 05] A. Cauvin, Analyse, Modélisation et amélioration de la réactivité des systèmes de décision dans les organisations industrielles, HDR en génie industriel, université Paul Cezanne Aix-Marseille III, 2005.
- [Cavory, 00] G. Cavory, Une approche génétique pour la résolution d'ordonnancements cycliques, thèse de doctorant, université d'Artois, 2000.
- [Cerny, 85] V. Cerny, I. Novak, Thermodynamical Approach to the travelling salesman problem: An efficient simulation algorithm. Journal of Optimization Theory and Applications, Vol. 45, PP.41-51, 1985.
- [Cesare, 93] F. Di. Cesare, G. Harhalakis, J. M. Proth, M. Silva, F.Vernadat, Practice of petri nets in Manufacturing, Chapman & Hall, 1993.
- [Charon, 96] I. Charon, A. Germa, O. Hudry, Méthodes d'optimisation combinatoire, Editions Masson, 1996.
- [Chen, 99] S. Chen, B. L. Luk, Adaptive simulated annealing for optimization in signal processing application, Signal Processing, 117-128, 1999.
- [Cheung, 98] J. Cheung, J. Bal, Process analysis techniques and tools for business improvements, Business process management journal, vol.4, 274-290, 1998.
- [Clavier, 97] J. Clavier, Qualité et qualitique, Technique de l'ingénieur, A8 750, 1997.
- [Clementz, 00] C. Clementz, Modélisation des systèmes de production de compétences: Apports à l'ingénierie pédagogique, Thèse de doctorant, univeristé de Metz, 2000.
- [Coad, 93] P. Coad, E. Yourdon, Analyse Orientée Objets, Editions Masson, 1993.

[Cohen, 97] G. Cohen , S. Gauber, J. P. Quadrat, Algebraic system analysis of timed Petri nets, Cambridge University Press, 1997.

## **D**

[David, 92] R. David, H. Alla, Du grafctet aux réseaux de Petri, Editions Hermes, Paris, 1992.

[Doumeingts, 83] G. Doumeingts, D. Breuil, L. Pun, La gestion de production assistée par ordinateur, Hermès, 1983.

[Ducq, 01] Y. Ducq, B. Vallespir, G. Doumeingts, Coherence analysis methods for production systems by performance aggregation, International Journal of Production Economics, 23-37, 2001.

## **E**

[Estrailier, 96] P. Estrailier, F. Kordon, Structuration of large scale Petri nets: an association with higher level formalisms for the design of multi-agent systems, Proceedings of the International Conference on Systems, Man and Cybernetics Information, Intelligence ans Systems, Beijing, China, 1996.

## **F**

[Frecher, 03] D. Frecher, J. Segot, Ph. Tizzolino, 100 questions pour comprendre et agir – les processus, AFNOR, Paris, 2003.

## **G**

[Galland, 01] S. Galland, Approche multi-agents pour la conception et la construction d'un environnement de simulation en vue de l'évaluation des performances des ateliers multi-sites, thèse de doctorant, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne et de l'Université Jean Monnet, 2001.

[Gautier, 95] R. Gautier, Qualité en conception de produits nouveaux : Proposition d'une méthode de fiabilisation du processus de management de l'information, Thèse de doctorat en Génie Industriel, ENSAM de Paris, 1995.

[Gingele, 02] J. Gingele, S. J. Childe, M. E. Miles, A modelling technique for reengineering business processes controlled by ISO 9001, Computers in Industry, vol. 49, n° 3, 235–251, 2002.

[Giua, 02] A. Giua, A. Piccaluga, C. Seatzu, Firing rate optimization of cyclic timed event graphs by token allocations, Automatica 38, 91-103, 2002.



- [Glover, 97] F. Glover, M. Laguna, Tabu Search, Kluwer academic Publishers, 1997.
- [Goldberg, 94] D. E. Goldberg; Algorithmes Génétiques, Editions Addison-Wesley, 1994 (traduction française de l'ouvrage anglais paru en 1991 "Genetic Algorithms") 1994.
- [Grabot, 96] B. Grabot, J. C. Blanc, C. Binda, A decision support system for production activity control, Decision support system 16, 87-101, 1996.
- [Guio, 97] R. D. Guio, M. Barth, About performance evaluation in production flow analysis, International Journal of Production Research, 1997.

## **H**

- [Hanrahan, 95] R. P. Hanrahan, The IDEF process modeling methodology, Software Technology support center, 1995.
- [Hao, 99] J.K. Hao, P. Galinier, M. Habib, Métaheuristiques pour l'optimisation combinatoire et l'affectation sous contraintes. Revue d'Intelligence Artificielle, 1999.
- [Harzallah, 00] M. Harzallah, Modélisation des aspects organisationnels et des compétences pour la réorganisation d'entreprise industrielles, Thèse de doctorat en Génie Industriel, Université de Metz, 2000.
- [Hasan, 02] R. Hasan, Contribution à l'amélioration des performances des systèmes complexes par la prise en compte des aspects socio-techniques dès la conception : proposition d'un modèle original de SITUATION DE TRAVAIL pour une nouvelle approche de conception, Université Henri Poincaré – Nancy I, 2002.
- [Heitz, 03] D. Heintz, Apport des méthodologies d'analyses systémiques dans la préparation à la certification ISO 9001 : 200 d'une PMI, Diplôme postgrade en informatique et organisation, Université de Lausanne, 2003
- [Hillion, 89] H. P. Hillion, J. M. Proth, Performance evaluation of jobshop systems using timed event-graphs, IEEE Transactions on Automatic Control, 34(1), 3-9, 1989.
- [Holdsworth, 03] R. Holdsworth, Practical applications approach to design, development and implementation of an integrated management system, Journal of Hazardous Materials, vol. 104, n° 1-3, 193–205, 2003.

## **I**

- [ICAM, 81a] Integrated Computer Aided Manufacturing (ICAM) Architecture Part II, Vol. IV – Fonctionnal Modeling Manual (IDEF0), Air Force Materials Laboratory, Wright-Petterson Air Force Base, Ohio 45433, AFWAI-TR-81-4023, 1981.

[ICAM, 81b] Integrated Computer Aided Manufacturing (ICAM) Architecture Part II, Vol. V – Fonctionnal Modeling Manual (IDEF0), Air Force Materials Laboratory, Wright-Petterson Air Force Base, Ohio 45433, AFWAI-TR-81-4023, 1981.

[IRDQ, 03] IRDQ, QUALIDIAG : Une méthode de diagnostic des systèmes de management de la qualité, Institut de Recherche et de Développement de la Qualité, Ouvrage collectif, 2003.

## **J**

[Jafrai, 94] Jafrai M.A., Boucher T.O., A rule-based system for generation a ladder logic control program from a high level system model, Journal of Intelligent Manufacturing, vol.5, 103-120, 1994.

[Jensen, 90] Jensen K., Coloured Petri nets – A high level language for system design and analysis, Springer, Berlin, 1990.

[Johansson, 93] H.J. Johansson, P. Mchugh, A.J. Pendlebury, Business process reengineering, breakpoint strategies par market dominance, John Wiley & sons Ltd, England, 1993.

[Joucla, 00] E. Joucla, Amélioration de l'efficacité des actions corrective d'un système qualité, Thèse doctorant en Science et Technique, INP Grenoble, 2000.

## **K**

[Kirkpatrick, 83] S. Kirkparrick, C. D. Gelatt, J. r. M P Vecchi, Optimization by Simulated Annealing, Science, Vol. 220, 671-680, 1983.

[Krestel, 00] K. Krestel, Certification of a patent information center according to DIN en ISO 9001, World Patent Information, vol. 22, n°1-2, 19 – 22, 2000.

## **L**

[Laftit, 92] S. Laftit, J. M. Proth, X. Xie, Optimization of invariant criteria for event graph. IEEE Transactions on Automatic Control, 37(5), 547-555, 1992.

[Larsen, 01] B. Larsen, T. Haversö, Management by standards : real benefits from fashion, Scandinavian Journal of Management, vol. 17, n°4, 457- 480, 2001.

[Li, 06] J. Li, Evaluation et optimisation des performances des systèmes de productions distribution, thèse de doctorant, université de Metz, 2006.

[Liang, 94] Liang G R., Hong H M., Hierarchy transformation method for repetitive manufacturing system specification, design, verification and implementation, Computer Integrated manufacturing systems, vol.7, 191-205, 1994.

[Louchner, 92] R. H. Lochner, J. E. Matar, Conception de la qualité: les plans d'expériences, afnor, 1992.

## **M**

[Marier, 96] S. Marier, Modélisation et évaluation des performances des processus industriels semi-structurés, thèse de doctorant, Institut national polytechnique de Grenoble, 1996.

[Massacre, 03] C. Massacre, F. Dagusie, Profession : qualicien, 2ème édition, Dunod, Belgique, 2003.

[Massot, 01] P. Massot, D. Lagarde, P. Nasiadka, M. Bellaïche, Mode D'emploi pour les Pme ISO 90001- Une méthode Inédite, AFNOR, Paris, 2001.

[Mathieu, 00] S. Mathieu, Comprendre les normes ISO 9000 version 2000, AFNOR, paris, 2000.

[Mati, 02] Y. Mati, Les problèmes d'ordonnancement dans les systèmes de production automatisés : Modèles, Complexité et Approches de résolution, thèse de doctorant, université de Metz, 2002.

[Mayer, 95] R. J. Mayer, Information Integration for Concurrent Engineering (IICE), IDEF3 Process Description Capture Method Report », AL-TR-81-4023, Air Force Material Laboratory, Wright Patterson AFB, Ohio 45433, 1995.

[Medeiros, 98] D.D. Medeiros, Le projet de certification ISO 9002 : Aide au choix et caractérisation des différentes démarches, thèse doctorant en Génie industriel, institut national polytechnique de Grenoble, 1998.

[Megartsi, 01] R. Megartsi, Proposition d'un support de conduite des processus d'entreprise dans un contexte perturbé, thèse de doctorant, université d'Aix-Marseille III, 2001.

[Messeghem, 99] K. Messeghem, Contribution à la compréhension de l'adoption d'un modèle d'assurance de la qualité en PME: le cas des industries agro-alimentaires, thèse de doctorant, université Montpellier I, 1999.

[Meyer, 88] B. Meyer, Object oriented software construction. Cambridge : Prentice Hall, 1988.

[Mitonneau, 04] H. Mitonneau, ISO 9000 version 2000 pour une renouvelée du management de la qualité, dunod, 2004.

[Mukhopadhyay, 98] S.K. Mukhopadhyay, M.K. Singh, R. Srivastava, FMS machine loading: a simulated annealing approach, International Journal of Production Research, Vol. 36, n°6, 1529 – 1547, 1998.

**N**

[Nakamura, 99] M. Nakamura, M. Silva, An iterative linear relaxation and tabu search approach to minimum initial marking problems of timed marked graphs. Proceedings of European control conference, Karlsruhe, Germany, 1999.

[Nearchou, 04] A. C. Nearchou, A novel metaheuristic approach for the flow shop scheduling problem, Engineering Application of artificial intelligence, 289-300, 2004.

**O**

[Olafsson, 02] S. Olafsson, J. Kim, Simulation optimization, Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, 79–84, 2002.

**P**

[Panayiotou, 99] C. G. Panayiotou, C. G. Cassandras, Optimization of kanban-based manufacturing systems. Automatica, 35, 1521-1533, 1999.

[Paris, 04] J. L. Paris, Apport des algorithmes évolutionnistes et de l'apprentissage pour l'analyse et l'optimisation via simulation des systèmes de production, HDR en Informatique et Productique, Université Blaise PASCAL, 2004.

[Partington, 96] D. Partington, The project management of organizational change, International Journal of Project Management, vol 14, n°1, 13-21, 1996.

[Peffer, 05] K. Peffer, T. Tuunanen, Planning for IS applications: a practical, information theoretical method and case study in mobile financial services, Information & Management, 42, 483-501, 2005.

[Pibouleau, 05] L. Pibouleau, S. Domenech, A. Davin, C. Azzaro-Pantel, Expérimentation numériques sur les variantes et paramètres de la méthode du recuit simulé, Chemical Engineering Journal, 117-130, 2005.

[Pillet, 01a] M. Pillet, D. Duret, Qualité en production de l'ISO à six sigma, Editions d'organisations, Paris, 2001.

[Pillet, 01b] M. Pillet, Appliquer la maîtrise statistique des procédés (MSP/SPC), Editions d'Organisations, Paris, 2001.

[Prins, 97] C. Prins, Algorithmes de Graphes, Editions Eyrolles, 2ème tirage, 1997.

[Proth, 06] J.M. Proth, A. Dolgui, Les systèmes de production modernes, Lavoisier, Paris, 2006.

[Proth, 97] J. M. Proth, L. M. Wang, X. Xie, A Class of Petri Nets for Manufacturing System Integration, IEEE Transactions n Robotics and Automation vol. 13, N° 3, 317-326, 1997.

## R

[Ramchandani, 74] C. Ramchandani, Analysis of asynchronous concurrent systems using Petri nets, Rapport Technique N° 120, MIT, Cambridge, 1974.

[Reimann, 95] M. D. Reimann, The effect of alternate business practices on business cost, University of Texas, 1995.

## S

[Sava, 01] A. Sava, Sur la synthèse de la commande des systèmes à événements discrets temporisés, thèse de doctorant, Institut national polytechnique de Grenoble, 2001.

[Sakarovitch, 84] M. Sakarovitch, Optimisation combinatoire - Graphes et programmation linéaire, Editions Hermann, Vol.1, 1984.

[Santarek, 97] K. Santarek, M. I. Buseif, Modelling and design of flexible manufacturing systems using SADT and Petri nets tools, Journal of Materials Processing Technology, vol.76, 212-218, 1997.

[Sauer, 03] N. Sauer, Marking optimization of weighted marked graphs, Discrete event dynamic systems: Theory and Application, 13, 245-262, 2003.

[Ségot, 01] J. Ségot, C. Gasquet, Assurer le passage à la norme ISO 9000 version 2000, en route vers l'excellence, AFNOR, Paris, 2001.

[Senechal, 04] O. Senechal, Pilotage des systèmes de production vers la performance globale, HDR en Automatique et Informatique des Systèmes Industriels et Humains, Université De Valenciennes, 2004.

[Sifakis, 78] J. Sifakis, Use of Petri nets for performance Evaluation, acta Cybernet, vol. 4, N°. 2, 185-202, 1978.

[Silveira, 03] M. DA. Silveira, Sur la distribution avec redondance partielle de modèles a événements discrets pour la supervision de procédés industriels, thèse de doctorant, Université Paul Sabatier de Toulouse, 2003.

[Staccini, 05] P. Staccini, M. Joubert, J-F Quaranta, M. Fieschi, Mapping care processes within a hospital: from theory to a web based proposal merging enterprise modelling and ISO normative principles, International Journal of Medical informatics, 74, 335-334, 2005.

[Sugden, 92] S. J. Sugden, A classe of direct search methods for nonlinear integer programming, Ph D thesis, Bond university (School of Information & Computing sciences) Austaural, 1992.

## T

[Tailland, 00] J. Tailland, Instruments intelligents : Modèle et outils de conception, thèse de doctorant, Université de Savoie, 2000.

[Tarondeau, 96] J. Tarondeau, La gestion de production, presses universitaires de France, collection: que sais-je, 1996.

[Thiel, 90] D. Thiel, Recherche opérationnelle et management des entreprises, Editions Economica, collection exercices et cas N°10, 1990.

[Toursi, 06] L. Toursi, N. Sauer, Optimisation des ressources dans les systèmes de production cycliques: Approche basée sur les réseaux de Petri temporisés, MOSIM'06, Rabat, Maroc, 2006.

[Trouillet, 06] B. Trouillet, J. C. Gentina, On the Linearization of Weighted T-Systems,

## V

[Vernadat, 99] F. Vernadat, Techniques de modélisation en entreprise : application aux processus opérationnels, Economica, 1999.

## W

[Ward, 89] P. T. Ward, How to integrate object orientation with structured analysis and design, IEEE software, vol. 6, N° 2, 74-82, 1989.

[Widmer, 91] M. Widmer, Modèles mathématiques pour un gestion efficace des ateliers flexibles, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1991.

[Widmer, 89] M. Widmer, A. Heritz, A new heuristic method for the flow shop sequencing problem, European Journal of Operational Research, vol. 41, 186 -193, 1989.

[Williams, 98] T. J. Williams, G.A. Rathwell, A handbook on master planning and implementation for enterprise integration programs, Report N. 160, Purdue laboratory for applied industrial control, 1998.

## Y

[Yamada, 94] T. Yamada, S. Kataoka, On some LP problems for performance evaluation of timed marked graphs. IEEE Transactions on Automatic Control, 39(3), 696-698, 1994.

[Ying-Chin, 98] Ying-Chin Ho, C.L.Moodie, Machine Layout with a Linear Single-Row Flow Path in an automated manufacturing system, Journal of Manufacturing System, Vol. 17, n°1, 1- 22, 1998.

**Z**

[Zaytoon, 93] J. Zaytoon, Extension de l'analyse fonctionnelle à l'étude de la sécurité opérationnelle des systèmes automatisés de production, thèse de doctorant, université Lyon, 1993.

[Zaytoon, 96] J. Zaytoon, Specification and design of logic controllers for automated manufacturing systems, Robotics & Computer integrated manufacturing, Vol. 12, 353-366, 1996.

[Zaytoon, 97] J. Zaytoon, G. Villerman-Lecolier, Two methods for the engineering of manufacturing systems, Control Engineering Practice, vol.5, 185-198, 1997.

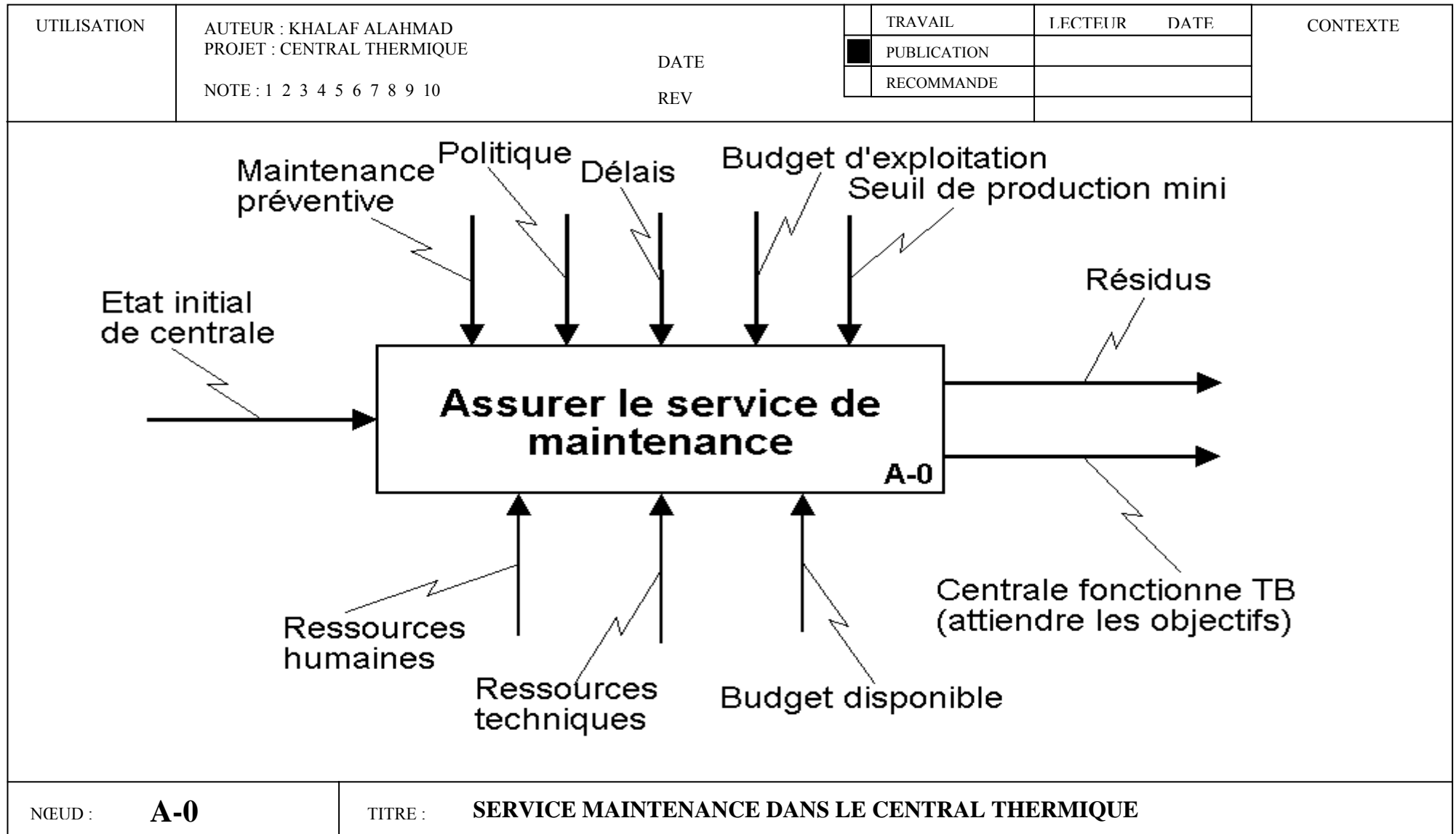
ANNEXE 1

*Étapes de création de modèle SADT*

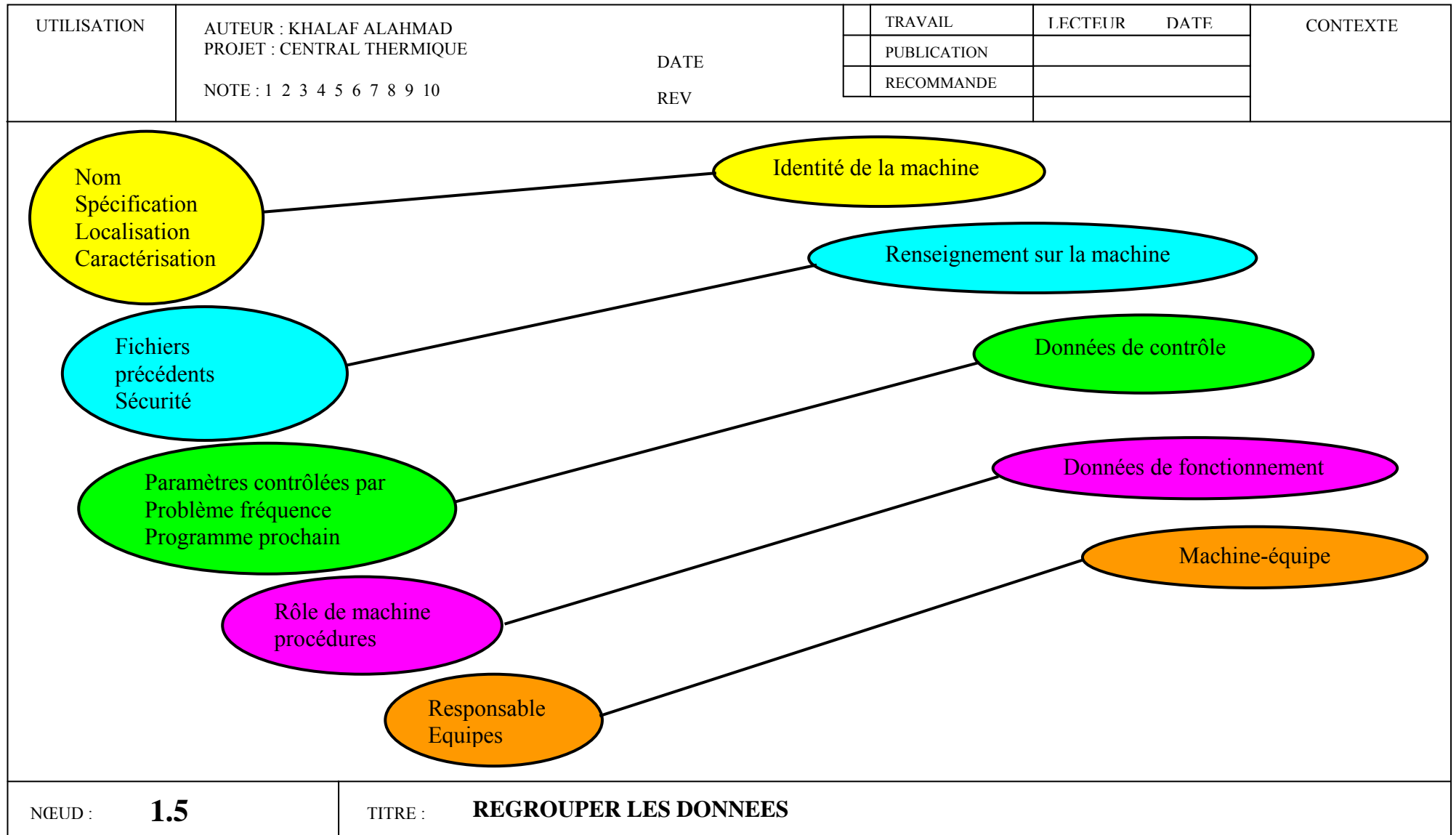


UTILISATION	AUTEUR : KHALAF ALAHMAD PROJET : CENTRAL THERMIQUE  NOTE : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	DATE  REV	TRAVAIL	LECTEUR	DATE	CONTEXTE
			PUBLICATION			
			RECOMMANDE			
<p><b>FONCTIONS ESSENTIELLES D'UN AUTEUR SADT</b></p> <p>« LE POINT DE DEPART EST LE SUJET À ANALYSER »</p> <p><b>1- PREPARER LE MODELE SADT</b></p> <p><b>CREER LE CONTEXTE GENERAL PAR REFERENCE AUX ACTIVITES</b></p> <p>1.1 Choisir le but et le Point du vu.  1.2 Délimiter le contexte (création du diagramme A0 à partir du diagramme A1).  1.3 Interview les experts.  1.4 Etablir une liste de données à partir des informations obtenues par le(s) expert(s).  1.5 Regrouper les données.  1.6 Etablir une liste d'activités sollicitant les données regroupées.  1.7 Regrouper les activités manipulant les mêmes groupes de données.</p>						
NŒUD :	<b>1</b>	TITRE :	<b>SERVICE DE MAINTENANCE DANS LE CENTRAL THERMIQUE</b>			

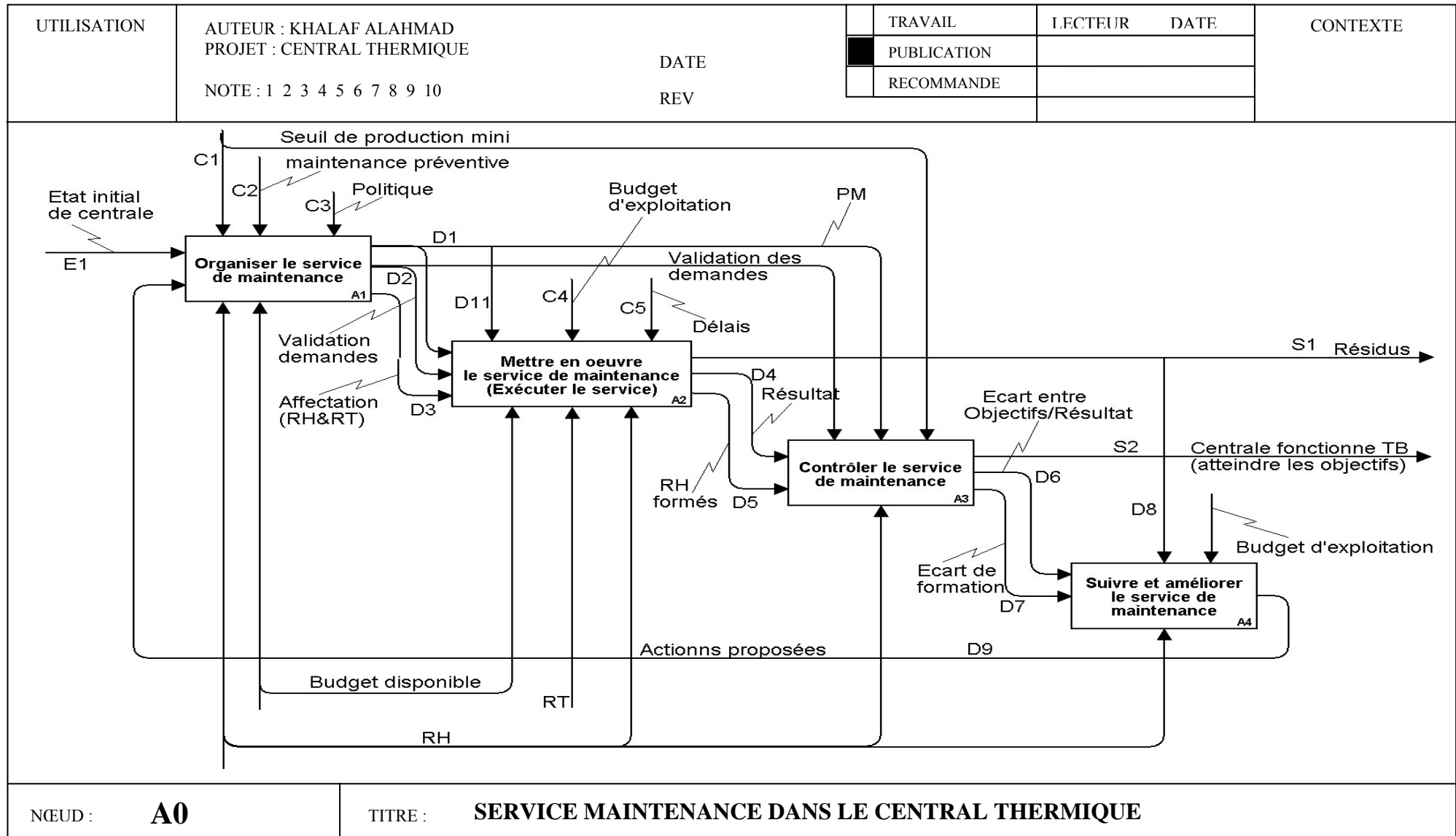
UTILISATION	AUTEUR : KHALAF ALAHMD PROJET : CENTRAL THERMIQUE  NOTE : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	DATE  REV	TRAVAIL	LECTEUR	DATE	CONTEXTE
			PUBLICATION			
			RECOMMANDE			
<p>Mettre en place de système de management de la qualité pour le service de maintenance en central thermique</p> <p>Dans le central thermique, nous avons service de maintenance qui exécute le programme de maintenance (maintenance corrective et préventive), les acteurs dans ce service sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Directeur</li> <li>- Chef de travaux de maintenance</li> <li>- Opérateurs (contrôleurs)</li> <li>- Chef d'équipe</li> </ul> <p>Le service nous aide à satisfaire les clients (consommateurs d'électricité), dans ce type d'entreprise après l'installation, le service de maintenance va permettre la continuation d'entreprise, autrement dit, le succès d'entreprise. Les acteurs proposant la maintenance préventive, sont (le directeur, le chef de travaux de maintenance, et les données des contrôleurs et chefs d'équipe), mais en respectant les données de la ministère. Cependant la maintenance corrective, les acteurs sont les Contrôleurs et les chefs d'équipe.</p>						
NŒUD : Le point départ		TITRE : <b>LE PROLEME A ANALYSER</b>				

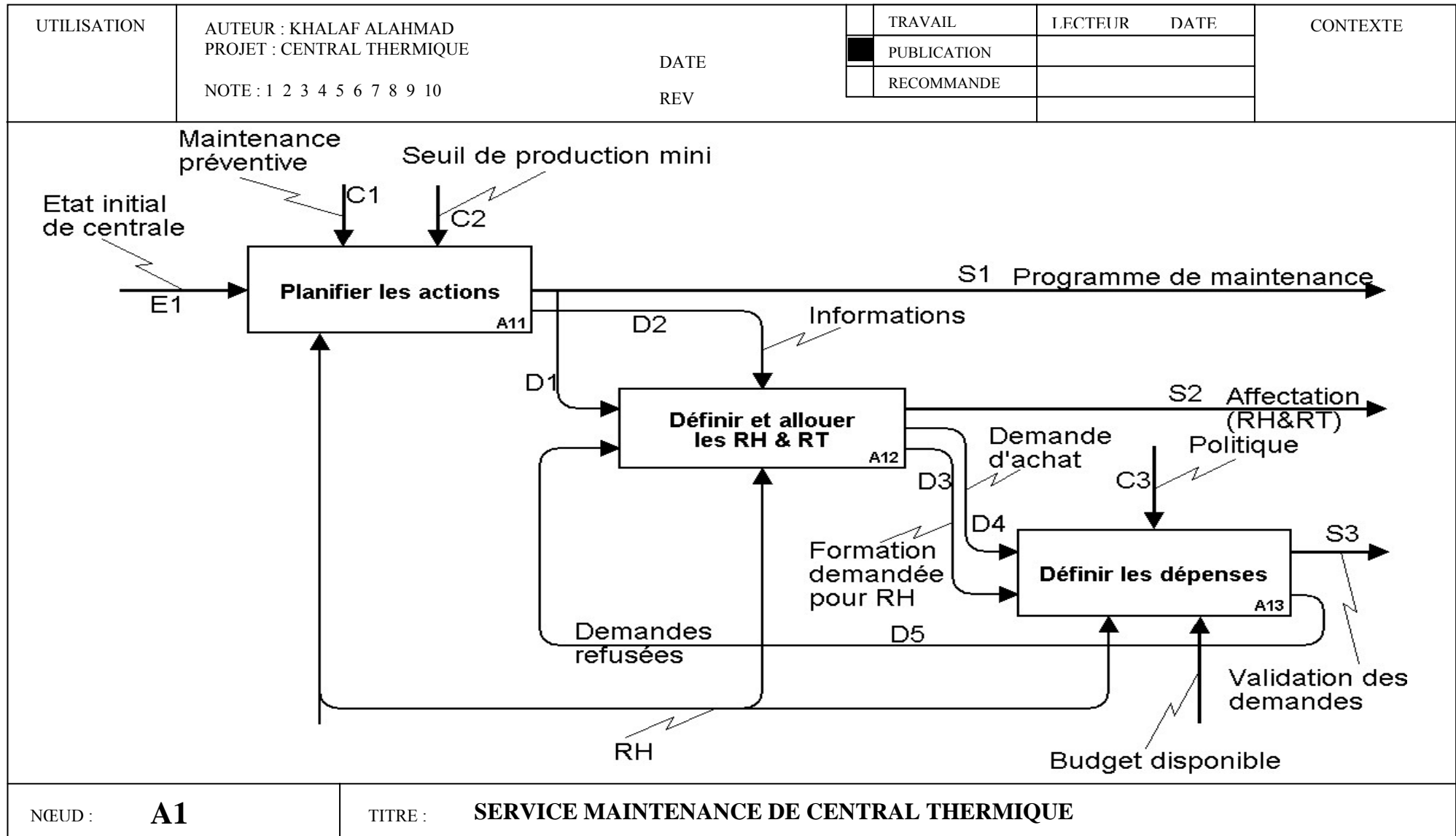


UTILISATION	AUTEUR : KHALAF ALAHMAD PROJET : CENTRAL THERMIQUE  NOTE : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  DATE REV	TRAVAIL	LECTEUR	DATE	CONTEXTE
		PUBLICATION			
		RECOMMANDE			
<p><b>LISTE DE DONNEES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nom de machine, spécifications.</li> <li>- Localisation de machine.</li> <li>- Rôle de la machine dans l'entreprise.</li> <li>- Responsable de faire la maintenance de la machine.</li> <li>- Type de travail (automatique, manuel,.....), et les travailleurs qui règle la machine et enregistre les paramètres.</li> <li>- Equipe de maintenance de la machine.</li> <li>- Fichiers précédents de maintenance de la machine.</li> <li>- Caractérisations (type d'alimentation, rotation.....).</li> <li>- Problèmes fréquence de la machine.</li> <li>- Sécurité (soit pour mettre en service, ou soit pour faire la maintenance).</li> <li>- Procédures de mettre en marche.</li> <li>- Paramètres de machine contrôlés par les Contrôleurs (Opérateurs) (températures, pression,...).</li> <li>- Programmes de maintenance prochaine de la machine.</li> </ul>					
NGEUD : <b>1.4</b>		TITRE : <b>LISTE DES DONNEES</b>			

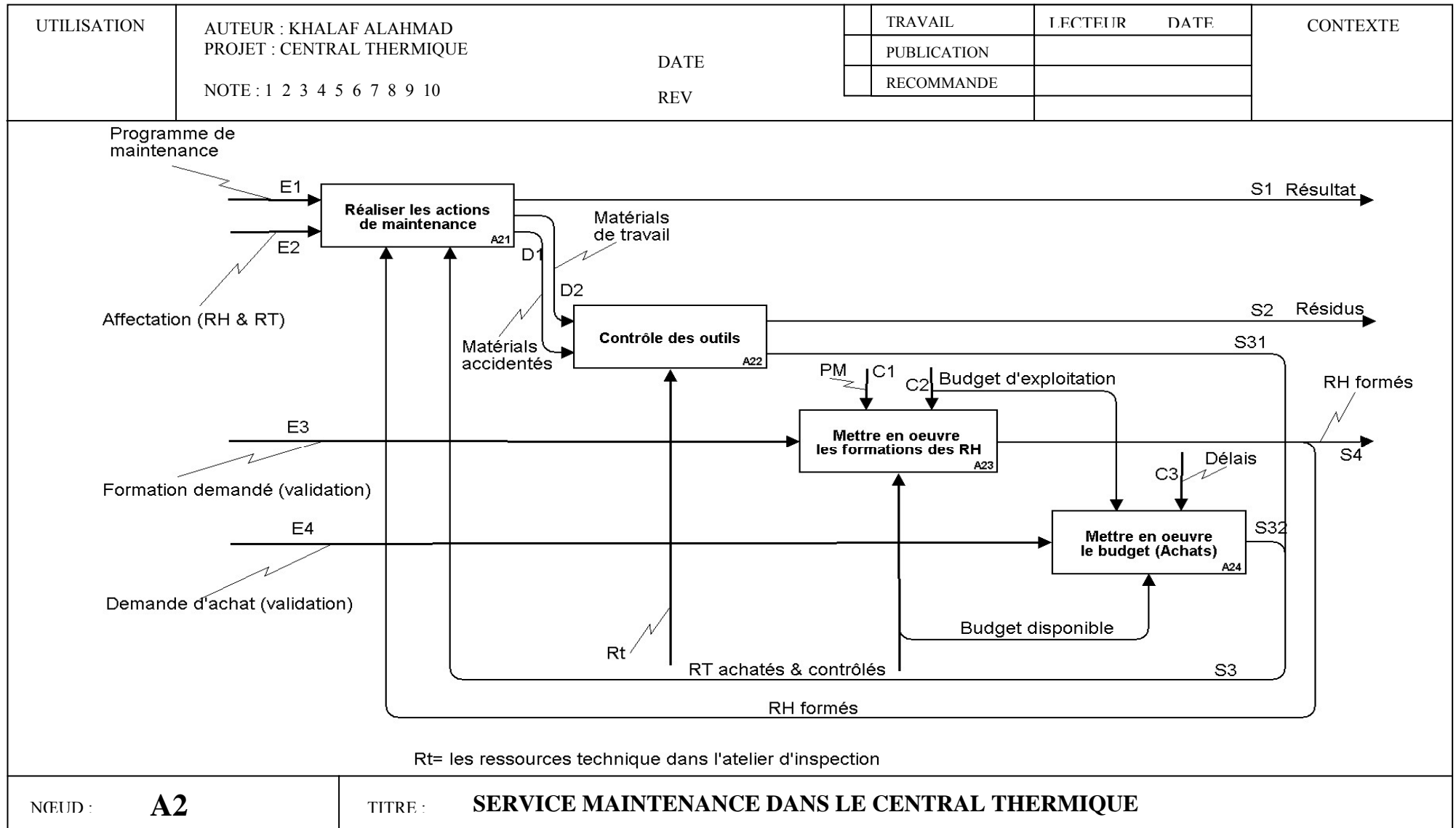


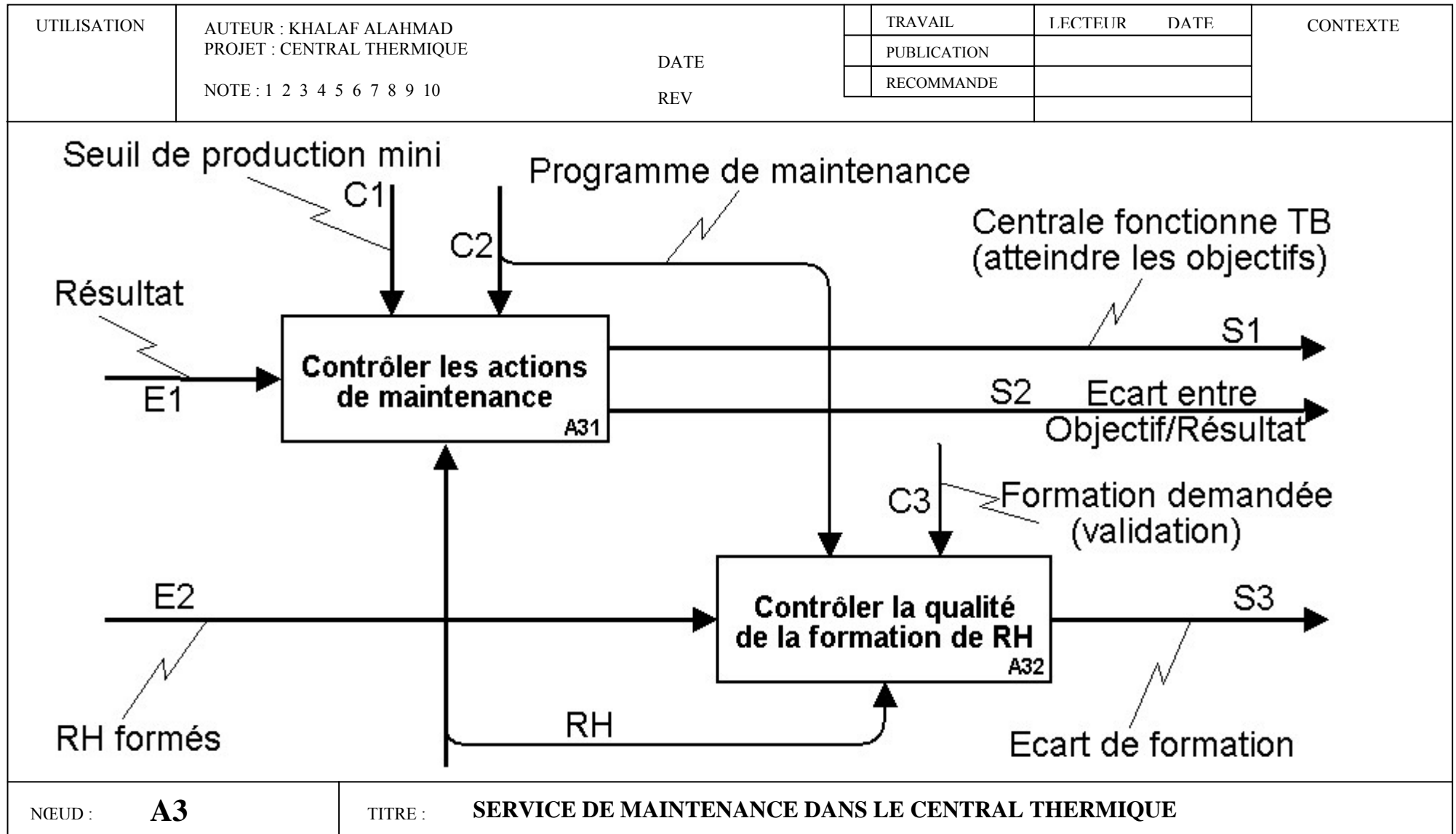
UTILISATION	AUTEUR : KHALAF ALAHMAD		TRAVAIL	LECTEUR	DATE	CONTEXTE		
	PROJET : CENTRAL THERMIQUE						PUBLICATION	
	DATE	REV						RECOMMANDE
<b>DONNEES</b>		<b>ACTIVITES</b>						
Identité de la machine		Sélectionner une machine, vérifier les spécifications, lire et enregistrer les caractérisations.						
Données de contrôle		Mettre à jour, consulter, modifier, mémoriser, noter les prochains programme de maintenance.						
Données de fonctionnement		Tester, valider, enregistre avec les heures et les valeurs, et les alertes en cas de défauts, et le niveau des alertes.						
Machine-équipe		Tester les compétences, les besoins d'équipe, vérifier la qualité des outils disponible.						
Renseignement sur la machine		Consulter, vérifier la maintenance avec succès, les accidents, respect des procédures de sécurité						
N°EUD : <b>1.7</b>		TITRE : <b>SERVICE MAINTENANCE DANS LE CENTRAL THERMIQUE</b>						







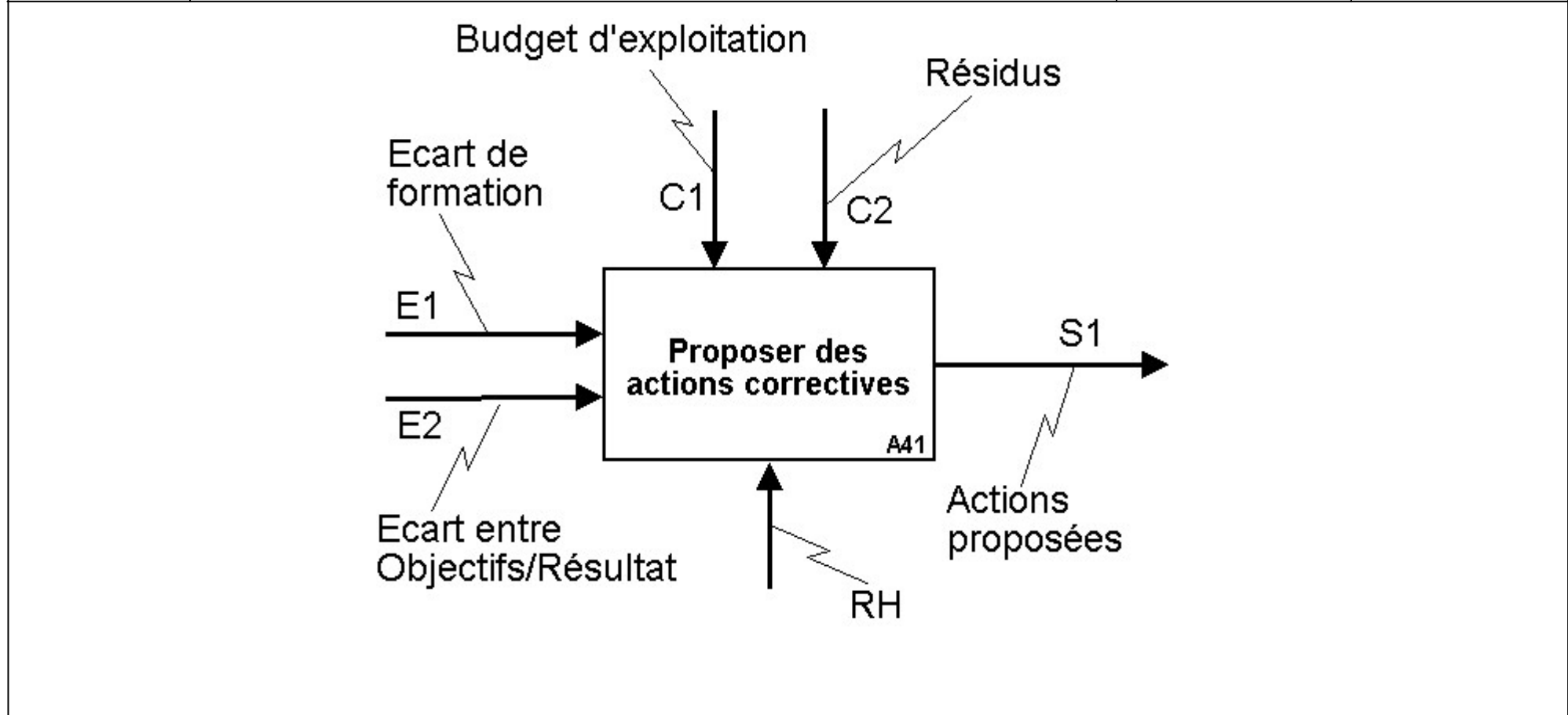




NEUD : **A3**

TITRE : **SERVICE DE MAINTENANCE DANS LE CENTRAL THERMIQUE**

UTILISATION	AUTEUR : KHALAF ALAHMAD PROJET : CENTRAL THERMIQUE  NOTE : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	DATE	TRAVAIL	LECTEUR	DATE	CONTEXTE
		REV	PUBLICATION			
			RECOMMANDE			



NŒUD : <b>A4</b>	TITRE : <b>SERVICE DE MAINTENANCE DANS LE CENTRAL THERMIQUE</b>
------------------	---

ANNEXE 2

*Tableaux de calcul de la méthode d'optimisation*

Dans cette annexe, nous allons présenter les tableaux obtenues pendant de réalisation le calcul de notre méthode d'optimisation. Ces tableaux montre les résultats des simulations de code C++.

Méthode d'optimisation – solution optimale :

N° de machine	N° des Opérateurs	N° de Régleurs	Solution bonne	Affectation	Temprateur
<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Re</b>	<b>sb</b>	<b>af</b>	<b>tempr</b>
5	2	1	573133	74000	900
6	2	1	912831	86000	810
6	3	1	912831	89000	728,9999
7	3	1	996408	101000	656,0999
8	3	1	1225764	113000	590,4899
9	3	1	1323208	125000	531,4409
9	4	1	1323208	128000	478,2968
10	4	2	1500532	148000	430,4671
10	5	3	1500532	159000	387,4204
11	5	3	1895295	171000	348,6783
12	5	3	1895295	183000	313,8105
13	5	3	2155605	195000	282,4294
13	6	3	2155605	198000	254,1865
14	6	3	2391997	210000	228,7678
15	6	3	2391997	222000	205,8911
16	6	3	2625545	234000	185,3019
16	7	3	2625545	237000	166,7717
17	7	3	2878266	249000	150,0946
18	7	3	2878266	261000	135,0851
19	7	3	3084805	273000	121,5766
20	7	4	3084805	293000	109,4189
21	7	4	3191742	305000	98,47703
21	8	4	3191742	308000	88,62933
22	8	4	3565944	320000	79,76639
23	8	4	3565944	332000	71,78975
24	8	4	3652445	344000	64,61077
24	9	4	3652445	347000	58,1497
25	9	4	3673223	359000	52,33472
26	9	4	4077909	371000	47,10125
27	9	4	4077909	383000	42,39113
28	9	4	4134721	395000	38,15201
28	10	4	4134721	398000	34,33681
28	11	4	3720080	401000	30,90313
29	11	4	4150097	413000	27,81281
30	11	5	4159725	433000	25,03153

31	11	5	4172186	445000	22,52838
32	11	5	4188399	457000	20,27554
32	12	5	4210130	460000	18,24799
33	12	5	4631114	472000	16,42319
34	12	5	4640439	484000	14,78087
35	12	5	4654723	496000	13,30278
36	12	5	4676375	508000	11,9725

Méthode d'optimisation – taux d'utilisation :

N° de machines	N° des opérateurs	N° de Régleurs	Temps de simulation	Taux d'utilisation des Opérateurs
<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Re</b>	<b>Temps</b>	<b>TdR</b>
5	1	1	5760000	0,925361
5	2	1	5760000	0,530563
6	2	1	5760000	0,939023
6	3	1	5760000	0,669107
7	3	1	5760000	0,357345
8	3	1	5760000	0,496746
9	3	1	5760000	0,873455
9	4	1	5760000	0,268607
10	4	2	5760000	0,785382
10	5	3	5760000	0,223635
11	5	3	5760000	0,643534
12	5	3	5760000	0,428674
13	5	3	5760000	0,741534
13	6	3	5760000	0,251696
14	6	3	5760000	0,626177
15	6	3	5760000	0,437544
16	6	3	5760000	0,710236
16	7	3	5760000	0,271815
17	7	3	5760000	0,611381
18	7	3	5760000	0,440294
19	7	3	5760000	0,686997
20	7	4	5760000	0,59832
21	7	4	5760000	0,730818
21	8	4	5760000	0,443511
22	8	4	5760000	0,671141
23	8	4	5760000	0,580617
24	8	4	5760000	0,711298
24	9	4	5760000	0,625139
25	9	4	5760000	0,503062
26	9	4	5760000	0,677461
27	9	4	5760000	0,607081
28	9	4	5760000	0,690119
28	10	4	5760000	0,690011
28	11	4	5760000	0,638068
29	11	4	5760000	0,659167
30	11	5	5760000	0,673997
31	11	5	5760000	0,676954
32	11	5	5760000	0,678853
32	12	5	5760000	0,651584
33	12	5	5760000	0,662385
34	12	5	5760000	0,667043

## Méthode d'optimisation – taux d'utilisation (suite 1) :

Taux d'utilisation de Régleur	Taux d'utilisation maximal	N° de machine ajoutée	La valeur de décision
<b>TdRe</b>	<b>maxtdM</b>	<b>Maj</b>	<b>choix</b>
0,28636	0,608958	---	0,925361
0,45165	0,841553	3	0,79705
0,243726	0,497571	---	0,939023
0,427812	0,79946	4	0,74966
0,461443	0,833643	0	0,805822
0,435922	0,805387	0	0,765843
0,294907	0,583327	---	0,873455
0,437344	0,830779	0	0,773581
0,379993	0,724459	---	0,785382
0,49743	0,883574	3	0,877852
0,440012	0,816485	9	0,779352
0,477983	0,858013	10	0,843994
0,391614	0,729803	---	0,741534
0,494866	0,876425	4	0,871255
0,440038	0,807916	11	0,775929
0,475369	0,850909	12	0,836242
0,398228	0,733924	---	0,710236
0,492075	0,868902	5	0,863844
0,438693	0,798831	11	0,772235
0,471517	0,842649	14	0,82812
0,403461	0,737442	9	0,7067
0,445653	0,801778	10	0,779852
0,373096	0,685978	---	0,730818
0,476082	0,84584	17	0,831576
0,413546	0,749206	9	0,721774
0,449835	0,803962	10	0,784331
0,385487	0,697642	---	0,711298
0,435311	0,782171	10	0,758658
0,465413	0,824813	10	0,809763
0,407629	0,73534	9	0,70862
0,440105	0,78724	10	0,764815
0,383965	0,691879	---	0,690119
0,384517	0,691938	---	0,690011
0,427488	0,768482	10	0,742196
0,415148	0,747611	10	0,719973
0,403502	0,724562	9	0,699554
0,393263	0,702485	14	0,681089
0,384192	0,690845	---	0,678853
0,421943	0,758664	10	0,730179
0,410879	0,73815	11	0,710788
0,400998	0,716156	12	0,693221
0,392254	0,698872	23	0,677751

Méthode d'optimisation – taux d'utilisation de chaque machine :

<b>tdM0</b>	<b>tdM1</b>	<b>tdM2</b>	<b>tdM3</b>	<b>tdM4</b>	<b>tdM5</b>	<b>tdM6</b>	<b>tdM7</b>	<b>tdM8</b>
0,5432	0,4716	0,4656	0,6089	0,4358				
0,8351	0,7888	0,7828	0,8415	0,7368				
0,4439	0,3853	0,3804	0,4975	0,4975	0,3561			
0,7897	0,7272	0,7170	0,7907	0,7994	0,6737			
0,8336	0,8111	0,8016	0,8292	0,8248	0,8166	0,7235		
0,8053	0,8053	0,7591	0,7452	0,7961	0,7893	0,7773	0,6487	
0,5335	0,5328	0,5307	0,4719	0,4579	0,578	0,5833	0,5746	0,4134
0,8307	0,8274	0,8213	0,7938	0,7761	0,7943	0,7737	0,7416	0,6028
0,6732	0,6875	0,6964	0,6962	0,6358	0,6181	0,7232	0,7244	0,7222
0,8813	0,882	0,8829	0,8835	0,88	0,879	0,8802	0,8808	0,881
0,7796	0,7871	0,7916	0,7955	0,7975	0,75	0,7361	0,8116	0,8154
0,8462	0,8495	0,8515	0,8534	0,8546	0,8295	0,8241	0,8544	0,8568
0,6833	0,6929	0,7027	0,706	0,7073	0,6496	0,6301	0,7292	0,7298
0,8740	0,8749	0,8758	0,8762	0,8764	0,8694	0,8672	0,8742	0,8751
0,7673	0,7764	0,7821	0,7861	0,7886	0,7902	0,7412	0,7247	0,8049
0,8354	0,8385	0,8409	0,8421	0,8432	0,844	0,8148	0,806	0,8475
0,6894	0,6959	0,7052	0,7094	0,7114	0,7137	0,6575	0,6367	0,7339
0,8662	0,8672	0,8681	0,8688	0,8686	0,8689	0,8578	0,854	0,8674
0,759	0,7682	0,7749	0,7791	0,782	0,7842	0,7856	0,7368	0,7182
0,8247	0,8285	0,8305	0,8317	0,8329	0,8336	0,8338	0,8013	0,7897
0,693	0,6987	0,7066	0,7114	0,7136	0,7156	0,7178	0,6633	0,6418
0,7616	0,7714	0,7787	0,7837	0,7875	0,7901	0,7928	0,7483	0,73016
0,6394	0,6399	0,6409	0,6413	0,6417	0,6422	0,643	0,5846	0,5673
0,8220	0,8269	0,8299	0,8317	0,8335	0,8347	0,835	0,8021	0,7903
0,7037	0,7089	0,7172	0,7231	0,7255	0,7282	0,7307	0,682	0,6612
0,7641	0,773	0,7799	0,7857	0,7893	0,7924	0,7951	0,7544	0,7371
0,6557	0,6571	0,6593	0,6605	0,6614	0,6623	0,6632	0,6085	0,5894
0,7366	0,7444	0,7528	0,7593	0,763	0,7659	0,7687	0,7288	0,708
0,7932	0,8007	0,8051	0,8085	0,8113	0,8135	0,8158	0,7771	0,7627
0,6882	0,6921	0,6981	0,7027	0,7054	0,707	0,7083	0,6679	0,6428
0,7415	0,7488	0,7564	0,7631	0,7672	0,769	0,7718	0,7346	0,7173
0,6485	0,6483	0,6481	0,6479	0,6472	0,646	0,6466	0,5994	0,5742
0,6483	0,6481	0,648	0,6478	0,6472	0,646	0,6464	0,599	0,5741
0,7177	0,7234	0,7310	0,7372	0,7407	0,742	0,74484	0,7091	0,6902
0,6963	0,7003	0,7061	0,7108	0,7135	0,715	0,7164	0,6816	0,6607
0,6782	0,6796	0,6824	0,6854	0,6872	0,688	0,6891	0,655	0,6315
0,6605	0,6603	0,6605	0,6608	0,6607	0,660	0,6607	0,6225	0,598
0,6423	0,6403	0,6387	0,6373	0,6359	0,6346	0,6335	0,5917	0,567
0,7037	0,707	0,7125	0,7179	0,721	0,7238	0,7256	0,6941	0,676
0,6858	0,6876	0,6907	0,6939	0,696	0,6973	0,6983	0,6673	0,648
0,6692	0,6696	0,6706	0,6714	0,6719	0,672	0,6721	0,6394	0,6178
0,6534	0,6521	0,6508	0,6498	0,6486	0,6476	0,6468	0,61	0,5878



Méthode d'optimisation – taux d'utilisation de chaque machine (Suite 1) :

tdM9	tdM10	tdM11	tdM12	tdM13	tdM14	tdM15	tdM16	tdM17
0,5459								
0,8473								
0,8164	0,6917							
0,8578	0,858	0,7916						
0,7296	0,7282	0,7273	0,551					
0,8753	0,8753	0,8755	0,8365					
0,8062	0,8069	0,8079	0,8073	0,6724				
0,8492	0,85	0,8503	0,8509	0,8506	0,7792			
0,7337	0,7336	0,7332	0,7318	0,7306	0,7293	0,5527		
0,8678	0,8686	0,8684	0,8685	0,8684	0,8682	0,8238		
0,7983	0,7986	0,7988	0,7986	0,7986	0,7984	0,7975	0,6504	
0,841	0,8419	0,842	0,8425	0,8424	0,8426	0,8423	0,8415	0,7621
0,7374	0,7372	0,7367	0,7363	0,7353	0,734	0,7331	0,7311	0,7299
0,8016	0,8017	0,8016	0,8012	0,801	0,801	0,8007	0,8005	0,8
0,6795	0,682	0,6828	0,684	0,6837	0,6839	0,6847	0,6859	0,6857
0,8446	0,8445	0,8448	0,8451	0,8451	0,8453	0,8455	0,8455	0,845
0,7492	0,7487	0,7479	0,7469	0,7462	0,7451	0,7443	0,7436	0,7426
0,8035	0,8039	0,8032	0,8028	0,8022	0,8025	0,8017	0,8017	0,8015
0,6938	0,6962	0,6964	0,6971	0,6973	0,6973	0,6962	0,6964	0,6976
0,7815	0,7821	0,7814	0,7799	0,779	0,7779	0,7774	0,7768	0,7759
0,8246	0,8248	0,8241	0,8243	0,8241	0,824	0,8242	0,8243	0,8244
0,7353	0,7349	0,734	0,7334	0,7323	0,731	0,73	0,7293	0,7284
0,7863	0,7872	0,7867	0,7852	0,783	0,783	0,7819	0,7813	0,7806
0,6824	0,6863	0,6875	0,6887	0,6899	0,6908	0,6908	0,6905	0,6903
0,6825	0,6862	0,6875	0,6889	0,6902	0,6908	0,6911	0,6905	0,6901
0,7672	0,7684	0,7677	0,7663	0,764	0,7631	0,7616	0,7607	0,7597
0,7471	0,7476	0,7469	0,7455	0,7439	0,7424	0,7408	0,739	0,7387
0,7245	0,7243	0,7243	0,7234	0,7223	0,721	0,7203	0,7194	0,7182
0,6992	0,6998	0,7011	0,702	0,7022	0,7024	0,7021	0,702	0,7014
0,6765	0,6781	0,6802	0,6826	0,6845	0,6858	0,6867	0,687	0,6872
0,756	0,7586	0,758	0,7565	0,7546	0,7528	0,7508	0,749	0,7476
0,7378	0,7379	0,7381	0,7372	0,7352	0,7335	0,7319	0,7303	0,7292
0,716	0,7149	0,7155	0,7161	0,7154	0,7145	0,7134	0,7128	0,7118
0,6932	0,6927	0,6937	0,6957	0,6965	0,6969	0,6971	0,6974	0,6977

Méthode d'optimisation – taux d'utilisation de chaque machine (Suite 2) :

tdM18	tdM19	tdM20	tdM21	tdM22	tdM23	tdM24	tdM25	tdM26
0,5534								
0,7993	0,6434							
0,6854	0,6842	0,5192						
0,8454	0,8453	0,7582						
0,7417	0,7408	0,74	0,5594					
0,8013	0,801	0,8004	0,7998	0,6418				
0,6969	0,6967	0,6966	0,6961	0,6954	0,5267			
0,775	0,775	0,7741	0,7736	0,7726	0,5956			
0,8242	0,8239	0,8239	0,8238	0,8233	0,8221	0,695		
0,7278	0,7272	0,7262	0,7253	0,7243	0,7238	0,7235	0,5436	
0,7802	0,7796	0,779	0,7782	0,7776	0,7769	0,7758	0,7749	0,5999
0,691	0,6915	0,6918	0,6918	0,6917	0,6918	0,691	0,691	0,6913
0,6912	0,6915	0,6914	0,6918	0,6919	0,6918	0,6913	0,691	0,6912
0,7587	0,7576	0,7571	0,75608	0,7552	0,754	0,7533	0,7522	0,7509
0,7376	0,7369	0,7359	0,7353	0,7343	0,7329	0,7321	0,731	0,7303

0,7177	0,7177	0,7171	0,7168	0,7161	0,7155	0,7148	0,7142	0,7137
0,7013	0,7019	0,7021	0,7023	0,7019	0,7017	0,7015	0,7014	0,7011
0,6878	0,6881	0,6889	0,6894	0,6896	0,6897	0,69	0,6901	0,6901
0,7465	0,745	0,7447	0,7439	0,7432	0,7423	0,7415	0,7403	0,7397
0,7282	0,7273	0,7265	0,7263	0,7258	0,725	0,724	0,7232	0,7225
0,7115	0,711	0,7108	0,7107	0,71	0,7106	0,7101	0,7097	0,7091
0,6979	0,698	0,6983	0,6981	0,698	0,6988	0,6985	0,6983	0,6984

Méthode d'optimisation – taux d'utilisation de chaque machine (Suite 3) :

<b>tdM27</b>	<b>tdM28</b>	<b>tdM29</b>	<b>tdM30</b>	<b>tdM31</b>	<b>tdM32</b>	<b>tdM33</b>	<b>tdM34</b>
0,5262							
0,526							
0,569							
0,7293	0,5488						
0,7137	0,7138	0,5398					
0,7	0,7009	0,7018	0,5364				
0,6898	0,6897	0,69	0,6908	0,5323			
0,7392	0,7389	0,7383	0,7375	0,5551			
0,7219	0,7212	0,72	0,7205	0,7206	0,5447		
0,7085	0,7081	0,7077	0,7076	0,7079	0,7084	0,5404	
0,6983	0,6985	0,6985	0,6982	0,6981	0,6986	0,6988	0,5385



## **Systèmes de contrôle de la qualité de production : Méthodologie de modélisation, de pilotage et d'optimisation des systèmes de production**

**Résumé** : Le sujet de la thèse porte sur les systèmes de contrôle de la qualité de production. Dans une concurrence exacerbée, la complexification des systèmes de production doit à la fois intégrer la satisfaction du client et l'anticipation sur ses besoins, tant internes qu'externes. Pour atteindre ce but, la satisfaction permanente des clients, nous essayons d'utiliser le concept de contrôle et de management de la qualité. Dans cette thèse, nous avons proposé une méthodologie pour contrôler le processus de pilotage, puis l'optimisation du système de production. Nous avons proposé une méthodologie qui, partant des outils de MSP (maîtrise statistique de la qualité) pour déterminer les processus critiques et collecter les données nécessaires, utilise la famille des méthodes IDEF (IDEF0 – IDEF3) pour réaliser le modèle fonctionnel. Nous avons enrichi cette approche par une modélisation dynamique basée sur les réseaux de Petri en proposant des règles spécifiques. Nous avons appliqué cette méthodologie sur le système de maintenance dans une centrale thermique. Par ailleurs, nous avons proposé une approche de mise en place d'un Système de Management de la Qualité (SMQ). Enfin, nous avons réalisé l'optimisation du modèle réalisé en utilisant le recuit simulé et la cadence de machine. Cette thèse est conclue par l'étude des différentes politiques de contrôle de la qualité.

**Mots clés** : Contrôle de la qualité, Mise en place d'un SMQ, Modélisation et optimisation des systèmes de production, Réseaux de Petri, SADT temporel.

## **Control systems of the quality of production: Methodology for modeling, for control and for optimization of production systems**

**Abstract**: The subject of our PhD thesis focuses on the systems of quality control of production. In a competition, the complex of production systems must to integrate customer satisfaction and anticipation of customer on their needs, internally and externally. To achieve this goal, the satisfaction of customers, we use the concept of control and quality management. In this PhD thesis, we proposed a methodology to control the process of piloting, then the optimization of the production system. In the start of our methodology, we call the tools of SPC (statistical processes control) to determine the critical process and collect the necessary data, then we use the method of IDEF (IDEF0 - IDEF3) to realize the functional model. The second step in our methodology is the realization of dynamic model which based on Petri nets by using specific rules. We applied this methodology on the maintenance system in a power plant. Moreover, we have proposed an approach to implementation of a quality management system (QMS). Finally, we realized the optimization of achieved model by using the simulated annealing and pace of machine. This PhD thesis has been finalized by studying the various policies of quality control.

**Keywords**: quality control, Implementation of a quality management system, Modeling and optimization of production systems, Petri nets, timed SADT.