

Republique Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A/Mira de Béjaia
Faculté des Sciences Exactes
Département de Recherche Opérationnelle



Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'Obtention du Diplôme de Master en Mathématiques
Appliquées

Option : Modélisation Mathématique et Evaluation des Performances des Réseaux

Evaluation de Performance d'une chaîne de production d'huile
à base de réseaux de Pétri Stockastiques :
Cas de la ligne de conditionnement d'huile Cevital



Réalisé par :

M^{elle} Hadjou Halima
M^{elle} Taleb Lynda

Devant le jury composé de :

Président :	<i>M^r</i> K.kabyl	M.C.B, univ. de Béjaia
Rapporteur :	<i>M^r</i> D. Aissani	Professeur, univ. de Béjaia
Co-Rapporteur :	<i>M^r</i> M. Amad	M.C.A, univ. de Béjaia
Examineur :	<i>M^r</i> A.Baadache	M.C.A, univ. de Béjaia
Examineur :	<i>M^r</i> M. Atmani	M.A.B, univ. de Béjaia

Université de Béjaia, 2016



**Louange A Dieu, le miséricordieux, sans Lui rien de tout cela
n'aurait pu être.**

Nous tenons tout d'abord à remercier *M^r* AISSANI DJAMIL et *M^r* AMAD MOURAD , pour l'honneur qu'il nous ont fait en acceptant de nous encadrer. Leurs conseils précieux ont permis une bonne orientation dans la réalisation de ce modeste travail.

Nous tenons également à remercier les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce travail, et pour le temps qu'ils consacrent pour lire ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à l'ensemble du corps enseignant qui a contribué à notre formation.

Enfin nous tenons à rendre hommage à toutes nos famille et nos amis pour le soutien qu'ils nous ont apportés durant toutes ces années d'études.



Je dédie ce travail à :

Mes très chers parents à qui je dois tout et à qui je rendrais jamais assez

Mes grands pères et mes grandes mères

Mes très chers frères et très chères soeurs

Mes très chers beaux frères et très chères belle soeurs

Mes neveux et nièces

Toute ma famille et tous mes amis

Taleb Lynda



Je dédie ce modeste travail
À mes chers parents pour leur soutien, je leur exprime tout ma
tendresse et ma gratitude. Que Dieu les protège.
À mes sœurs Soumia, Lamia et Wissem.
À ma chère cousine Kenza.
À tous ceux qui m'aiment et que j'aime.
À tous mes amis.

Enfin, à vous les lecteurs de ce mémoire.

Hadjou Halima

Table des matières

liste des Figures	iii
liste des Tableaux	iv
Introduction Générale	1
1 <i>Présentation de L'entreprise Cevital</i>	3
1.1 Introduction	3
1.2 Présentation et historique de l'entreprise	3
1.3 Activités et missions de Cevital	4
1.4 Organisation de l'entreprise	5
1.5 Différentes unités de production du pole corps gras	5
1.5.1 L'unité de raffinage	5
1.5.2 L'unité de conditionnement	6
1.6 Présentation du conditionnement de l'huile	6
1.6.1 Services de conditionnement d'huile	6
1.6.2 Etude des différentes lignes de conditionnement d'huile	7
1.6.3 Présentation des machines utilisées dans la production	8
1.7 Problématique	9
1.7.1 Contexte de travail	9
1.7.2 Positionnement du sujet	10
1.8 Conclusion	10
2 <i>Réseau de Petri et l'Evaluation des Performances</i>	11
2.1 Introduction	11
2.2 Réseau de Petri	11
2.2.1 Quelques notions de Base	11
2.2.2 Définitions et concepts de base	12

2.2.3	Dynamique des Réseaux de Petri	14
2.2.4	Propriétés des réseaux de Petri	15
2.2.5	Classes des réseaux de Petri	16
2.2.6	Réseaux de Petri stochastiques	18
2.2.7	Application des RdPS dans les systèmes de production . . .	22
2.2.8	Outils de simulation de RdPS	22
2.3	Théorie des files d'attente	22
2.3.1	Rappel sur les systèmes de files d'attente	22
2.3.2	Caractéristiques d'un système d'attente	24
2.3.3	Mesures de performance	25
2.3.4	Réseaux des files d'attente	25
2.3.5	Système multi-phases	26
2.4	Evaluation de performances	27
2.4.1	Concept d'évaluation de performances	28
2.4.2	Etapes d'évaluation de performances	28
2.4.3	Techniques de l'évaluation de performances	29
2.4.4	Obtention des indices de performances	31
2.5	Conclusion	32
3	<i>Modélisation et évaluation de performances de la chaîne de production</i>	33
3.1	Introduction	33
3.2	Modélisation de la ligne de production	33
3.2.1	Méthodologie de la modélisation	33
3.2.2	Formulation du modèle	35
3.2.3	Modélisation	36
3.3	Présentation de l'outil de simulation	40
3.3.1	RdP dans GRIF	40
3.3.2	Présentation de l'interface	40
3.3.3	Création d'un RdP avec GRIF	42
3.3.4	Utilisation du Moca-PN	42
3.4	Les paramètres de simulation	44
3.5	Interprétation des résultats	46
3.6	Calcul de la disponibilité et de la productivité de la chaîne de conditionnement	48
3.7	Conclusion	50
	Conclusion Générale et Perspectives	53
	Bibliographie	53

Table des figures

1.1	Structure du complexe CEVITAL	5
1.2	Organigramme des services de conditionnement d'huile	7
2.1	Représentation graphique d'un RdP	13
2.2	Représentation d'une file d'attente	23
2.3	File d'attente avec plusieurs serveurs	24
2.4	Schéma d'évaluation de performances d'un système	29
3.1	Schéma d'utilisation d'un modèle	34
3.2	Processus de modélisation	35
3.3	Modèle du système de production sans défaillance	37
3.4	Cycle de défaillance et réparation.	38
3.5	Modèle RdPS du système.	39
3.6	Interface de GRIF	41
3.7	Barre d'icônes	42
3.8	Fenêtre de paramétrage du Moca-PN	43
3.9	Résultats de simulation du premier Cas pour les places	47
3.10	Courbe de la productivité	49

Liste des tableaux

1.1	<i>Production maximale des six lignes du conditionnement.</i>	6
3.1	Signification des machines	35
3.2	<i>Les taux de services.</i>	37
3.3	Les taux de défaillances et de réparation suggérés	45
3.4	Calcul de λ et μ	46
3.5	La productivité en fonction des paramètres λ et μ	48

Introduction Générale

Parmi les systèmes automatisés de production du complexe Cevital, on rencontre bien souvent la ligne de conditionnement d'huiles. La structure et la complexité de ces systèmes engendrent des problèmes critiques de performances, avec par exemple des problèmes de productivité et de disponibilité.

Il est donc fondamental de disposer de méthodes et d'outils efficaces permettant la modélisation et l'évaluation de performances des systèmes de production complexe.

Le maintien d'une productivité espérée revient généralement à maintenir la disponibilité de la ligne de production à un certain niveau prédéfini. Afin d'atteindre cet objectif, une prédiction de performance est souvent nécessaire.

Notre travail a pour principal objectif de modéliser et évaluer les performances de la ligne de production d'huile et de les prévoir à base d'un réseau de Petri stochastique.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres et se termine par une conclusion générale .

Le premier chapitre portera quelques généralités sur l'entreprise cevital, ainsi une présentation générale de l'unité de conditionnement d'huile et l'évaluation de performance .

Dans le deuxième chapitre, nous allons présenter l'outil de modélisation qui est les réseaux de Petri en insistant sur les propriétés dont nous aurons besoins par la suite. Nous présentons la méthodologie d'évaluation de performance de la ligne de production.

Enfin, le troisième chapitre fera le point sur l'objectif fixé auparavant, nous abordons la modélisation et l'évaluation des performances de la chaîne de conditionnement d'huile à l'aide du simulateur GRIF qui sera présenté dans ce chapitre .

Pour terminer, nous dressons un bilan des travaux effectués, ainsi que les perspectives sur les travaux que nous envisageons pour suite à ce mémoire.

Chapitre 1

Présentation de L'entreprise Cevital

1.1 Introduction

Cevital est le premier complexe agroalimentaire en Algérie spécialisé dans le raffinage des huiles, qui a pour mission principale de développer la production et assurer la qualité du conditionnement.

La première partie de ce chapitre, nous donne une petite présentation de l'entreprise Cevital, ses multiples activités et ses missions, ainsi que son organisation. La deuxième partie, nous donne des généralités sur les systèmes de production.

1.2 Présentation et historique de l'entreprise

Cevital est parmi les entreprises algériennes qui ont vu le jour dès l'entrée de notre pays en économie de marché, elle a été créée par des fonds privés en 1998 d'un capital de 970.000.000.00 DA. Son complexe de production se situe au niveau du port de Bejaia et s'étend sur une superficie de $45000m^2$ d'installation pour un terrain de concession d'une durée de trente ans avec renouvellement de contrat.

Cevital contribue largement au développement de l'industrie agroalimentaire national, elle vise à satisfaire le marché national et exporter le surplus, en offrant une large gamme de produit de qualité. En effet les besoins de marché national sont de 1200T/j d'huile l'équivalent de 12 litres par personne et par an, les capacités actualles de Cevital sont de 1800T/j, soit un excédent commercial de 600T/j.

Les nouvelles données économiques nationales dans le marché de l'agro-alimentaire, font que les meilleurs sont ceux qui maîtrisent d'une façon efficace et optimal les coûts, les charges et ceux qui offrent le meilleurs rapport qualité/prix. Ceci est nécessaire pour s'imposer sur le marché que Cevital négocie avec les grandes sociétés commerciales internationales, ces produits se vendent dans différentes villes

africaines (Lagos, Niamey, Bamako, Tunis) [1].

1.3 Activités et missions de Cevital

Lancé en Mai 1998, le complexe Cevital a débuté son activité par le conditionnement d'huile en Décembre 1998, en Février 1999, les travaux de génie Cevital de la raffinerie ont été entamés. Elle est devenue fonctionnelle en aout 1999.

les principales activités du complexe cevital concernent la production et la commercialisation des huiles végétales, de margarine et de sucre et se présente comme suit :

- Raffinage des huiles avec une capacité de production de 1800 tonnes/jour ;
- Conditionnement des huiles avec une capacité de 1400 tonnes/jour ;
- Production de margarines avec une capacité de 600 tonnes/jour ;
- Fabrication d'emballage (PET) Poly-Ethylène-Téréphtalate (9600 unités/heure) ;
- Raffinage du sucre avec une capacité de production de 1600 tonnes/jour ;
- Sucre liquide.

L'entreprise a pour mission prncipale de développer la production tout en assurant la qualité et le bon conditionnement des huiles, des margarines et du sucre à des prix nettement plus compétitifs et cela dans le but de satisfaire le client et le fidéliser. Les objectifs visés par Cevital sont :

- L'extension de la distribution de ses produits sur tout le territoire national ;
- L'importation de graines oléagineuses pour l'extraction directe des huiles brutes ;
- L'optimisation de ses offres d'emploi sur le marché de travail ;
- L'encouragement des agriculteurs par des aides financières pour la production locale de graines oléagineuses ;
- La modernisation de ses équipements industriels et de ses modes de gestion pour améliorer sa productivité ;
- Le positionnement de ses produits sur le marché étranger par leur exportations ;

1.4 Organisation de l'entreprise

Pour présenter le complexe agroalimentaire Cevital d'une manière générale, la figure suivante nous montre la structure hiérarchique du complexe ainsi que les différentes directions et services [1].

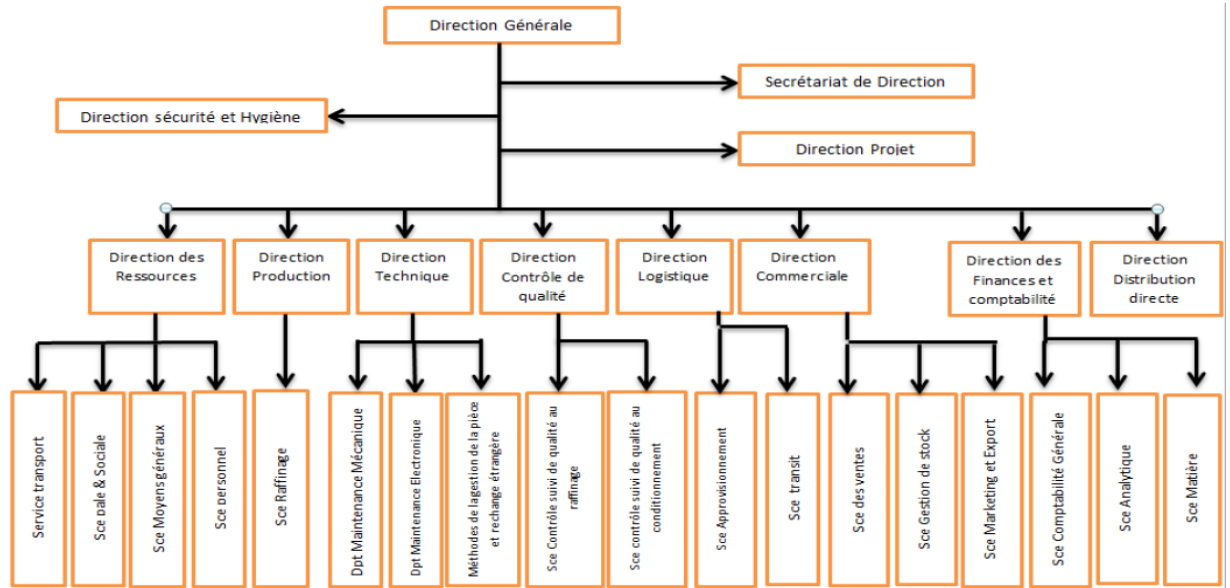


FIGURE 1.1 – Structure du complexe CEVITAL

1.5 Différentes unités de production du pole corps gras

Afin de cibler ses objectifs, Cevital a subdivisé sa production en deux unités principales [2] :

1.5.1 L'unité de raffinage

Le raffinage constitue une étape clé de la technologie de production des huiles et des margarines. L'opération de raffinage sert à éliminer les composés indésirables dans les huiles brutes. L'unité de raffinage est composée de trois lignes de production :

- La ligne (A) de capacité de production égale à 400 tonnes/jour.
- La ligne (B) de capacité de production égale à 400 tonnes/jour.

- La ligne (C) de capacité de production égale à 1000 tonnes/jour.

1.5.2 L'unité de conditionnement

L'unité de conditionnement d'huile de Cevital est constituée actuellement de six lignes de production, deux pour la production des bouteilles de 5 litres, une ligne pour la production des bouteilles de 4 à 5 litres, une ligne pour la production des bouteilles de 1 litre, une ligne pour la production des bouteilles de 2 litres et une ligne pour la production des bouteilles de 1,8 litre. Le tableau suivant indique la capacité de production moyenne par heure pour chaque ligne :

<i>N</i> ^o	La ligne	La production/heure
1	1Litre	12000
2	1,8Litre	12000
3	2Litre	11000
4	5Litre A	5000
5	5Litre B	9000
6	4Litre BOXEE	3000

TABLE 1.1 – *Production maximale des six lignes du conditionnement.*

En termes d'équipement, chaque ligne est constituée de plusieurs machines assurant des tâches précises dans le but d'avoir un produit fini complètement emballé et prêt à être vendu.

1.6 Présentation du conditionnement de l'huile

1.6.1 Services de conditionnement d'huile

La direction de conditionnement d'huile est constituée de plusieurs services qui sont représentés dans l'organigramme suivant [1] :

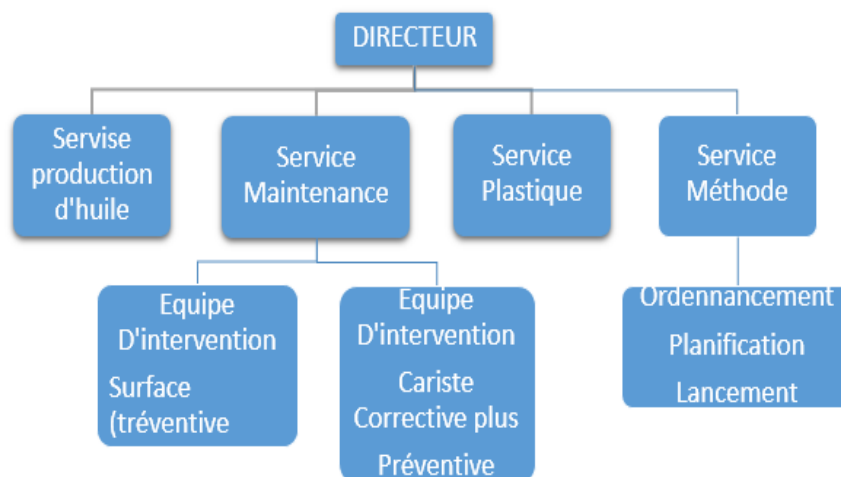


FIGURE 1.2 – Organigramme des services de conditionnement d'huile

1.6.2 Etude des différentes lignes de conditionnement d'huile

L'études de la chaine de conditionnement d'huile du complexe Cevital consiste à faire une analyse fonctionnelle dans le but de comprendre son fonctionnement. La mise en bouteilles sur chaque ligne des huiles s'effectue de la manière suivante :

- Transformation du PET en forme de bouteilles de 1 litre, 2 litres, 4 ou 5 litres, à l'aide des presses de capacités respectives, 210000, 180000 et 105000 bouteilles par jour.
- Après transformation, les bouteilles passent par la souffeuse. Cette unité est composée de 4 souffeuses : A l'aide des remplisseurs, on procède à la mise en bouteilles des huiles. Cette opération s'effectue en parallèle avec le soufflage.
- Les bouteilles ainsi remplies d'huile, passent par l'étiquetteuse, bouchonneuse puis par la dateuse.
- Regroupement des bouteilles de 2 et 1 litres au niveau de la fardeleuse en lots de 10 et 6 bouteilles respectivement. Par contre, les bouteilles de 5 litres sont posées et regroupées manuellement.
- Regroupement des lots en palettes qui sont composées de 4 à 5 étages chacun peuvent contenir 850 bouteilles d'un litre, 300 bouteilles de 2 litres et 168 bouteilles de 5 litres. Les capacités des palettiseurs sont de 14, 24 et 170 palettes par heure pour une ligne de 5 litre.
- Enveloppement des palettes par un fil à l'aide de la banderoleuse.

Après l'opération de conditionnement, l'huile ainsi raffinée sera complètement disponible à la livraison.

1.6.3 Présentation des machines utilisées dans la production

Dans ce paragraphe, on définit le parcours de la bouteille, qui commence par la souffleuse jusqu'à la banderoleuse passant par les différentes machines citées précédemment.

Les souffleuses : La chaîne commence par deux souffleuses (l'une de 6000b/h) et l'autre (3000b/h), chacune utilise comme matière première des préformes qui ont une structure de tube, fabriquées dans l'unité plastique.

Remplisseuse et Bouchonneuse : La remplisseuse est l'unité chargée du remplissage des bouteilles du produit fini dont la vitesse du remplissage peut être variée. La remplisseuse est constituée essentiellement de la cuve qui est remplie d'huile à partir des bacs journaliers par l'intermédiaire des pompes de soutirage. Ces cuves donnent une indication sur le niveau d'huile à l'intérieur à l'aide de quatre voyants reliés aux capteurs. Cette même information est utilisée pour la variation de la vitesse des pompes ou leur arrêt de démarrage.

La bouchonneuse se trouve encastrée dans la remplisseuse pour permettre le bouchage des bouteilles juste à la fin de leur remplissage pour éviter le débordement. Les bouchons sont fabriqués et préparés par une autre unité, donc ils sont prêts à être utilisés directement par la bouchonneuse.

La poseuse poignée : On trouve ce type de machine uniquement dans les lignes de 4 ou 5 litres. Elle a pour rôle le placement et la fixation des poignées sur les bouteilles.

Étiqueteuse : L'étiqueteuse sert à coller les étiquettes enveloppantes sur les récipients cylindriques portant des informations sur le produit et le fabriquant.

Dateur : Le dateur est une machine destinée à mentionner la date et l'heure de fabrication du produit. Chaque ligne dispose de deux types de dateurs, soit celle qui utilise l'impression à jet d'encre ou celle qui emploie la gravure directe sur la bouteille à l'aide d'un laser. Le dateur est précédé d'une cellule qui contrôle la position et la présence de la bouteille.

Fardeuse : La fardeuse est une machine automatique de construction simple, son rôle est de recevoir les bouteilles et les envelopper dans un film de silicone. Elle est de type barre de soudeur avec super poseur de film sur fond de

paquet.

Palettiseur : Cette machine est conçue pour superposer sur une palette plusieurs étages de fardeaux. Il comporte plusieurs organes :

- Tourne fardeaux,
- Pousseur des fardeaux,
- Ascenseur,
- Magasin palettes,
- Convoyeur à rouleaux d'alimentation palettes vides et évacuation palettes plienes.

Banderoleuse : Cette machine est incluse pour envelopper la charge constitué de la palette en plusieurs étages de fardeaux dans le but d'assurer la bonne tenue des bouteilles pour tout déplacement. La banderoleuse entoure la charge d'un film en silicone.

1.7 Problématique

Durant notre stage à l'entreprise Cevital, nous avons pu discuter avec le personnel de conditionnement d'huile. Ils nous à expliqué que pour satisfaire la demande de produit (huile), L'entreprise doit pouvoir maintenir la productivité de la ligne de production à 50% de sa productivité maximale.

Vue que la productivité de la ligne de production est l'un des soucis de l'entreprise, une évaluation de performances en terme de taux de productivité s'impose.

1.7.1 Contexte de travail

L'étude de ce thème consiste à :

- Connaître et comprendre le fonctionnement de la chaîne de production d'huile de l'entreprise Cevital ;
- Etude et modélisation du fonctionnement de la ligne de production ;
- Modéliser et évaluer les performances de la chaîne de production en utilisant les réseaux de petri ;
- Soumission du modèle a des different cas ;
- Calcul de productivité et de la disponibilité de la ligne de production.

1.7.2 Positionnement du sujet

Afin de modéliser et d'évaluer les performances d'un système de production, il est nécessaire de passer en revue tous les aspects intervenants dans ce système. Il s'agit par exemple :

- du schéma du système de production ;
- du fonctionnement de chaque machine ;
- des utilités ;
- de l'échange entre peers (machines).

1.8 Conclusion

Ce chapitre a été introduit dans le but de présenter l'organisme d'accueil. Ainsi, introduire le sujet d'étude qui est la ligne de production d'huile. présenté par la suite Le fonctionnement de la ligne, la problématique et l'objectif de l'étude . Dans le chapitre suivant, nous avons opté pour les réseaux de Petri comme outil de modélisation et d'évaluation des performances.

Chapitre 2

Réseau de Petri et l'Évaluation des Performances

2.1 Introduction

L'objectif principal de ce chapitre est la présentation des méthodes qu'on va utiliser pour évaluer les performances de notre chaîne de production, à savoir les réseaux de Petri et les réseaux de files d'attente, et de traiter les différentes méthodes d'évaluation de performances et l'évaluation de performances des systèmes de production.

2.2 Réseau de Petri

2.2.1 Quelques notions de Base

Condition :

une condition est la description de l'état d'une ressource du système modélisé :

- Une machine est au repos ;
- Une machine est en répartition ;
- Une commande est en attente.

Evènement :

un évènement est une action qui se déroule au sien du système et dont la réalisation dépend de l'état du système :

- Début de traitement sur une machine ;
- panne d'une machine ;
- Début de traitement d'une commande.

Dans le formalisme des réseaux de Petri, la condition est modélisée par une place, et l'évènement est modélisé par une transition.

2.2.2 Définitions et concepts de base

Un réseau de Petri (Rdp) est un outil mathématique et graphique qui permet de décrire les relations existantes entre les conditions et les évènements. Il permet de modéliser le comportement des systèmes à évènements discrets.

Représentation d'un réseau de Petri

Un réseau de petri peut être représenté de trois manières différentes :

- Représentation analytique ;
- Représentation graphique ;
- Représentation matricielle.

Représentation analytique

On appelle un réseau de Petri le quadruplet $PN = (P, T, Pre, Post)$ où :

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$: est un ensemble fini de place ;
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$: est un ensemble fini de transitions ;
- $Pre : (P, T)$: est l'application d'incidence avant (place précédente, W^-) ;
- $Post : (T, P)$: est l'application d'incidence arrière (place suivante, W^+).

Représentation graphique

Un réseau de Petri est un graphe orienté biparti constitué de places, de transitions et d'arcs qui relient les transitions aux places et les places aux transitions où :

- Les places sont représentées par les cercles ;
- Les transitions sont représentées par des rectangles ;
- La fonction de poids W est représentée par des arcs valués :

- Un arc relie une place p à une transition t ssi $W(p, t)^- \neq 0$;
- Un arc relie une transition t à une place p ssi $W(p, t)^+ \neq 0$.
- Le marquage M est représenté par des jetons ou par des nombres à l'intérieur des places ;
- Une transition sans places d'entrée est une transition source ;
- Une transition sans places de sortie est une transition puit.

La Figure 2.1 nous montre la représentation graphique d'un RDP :

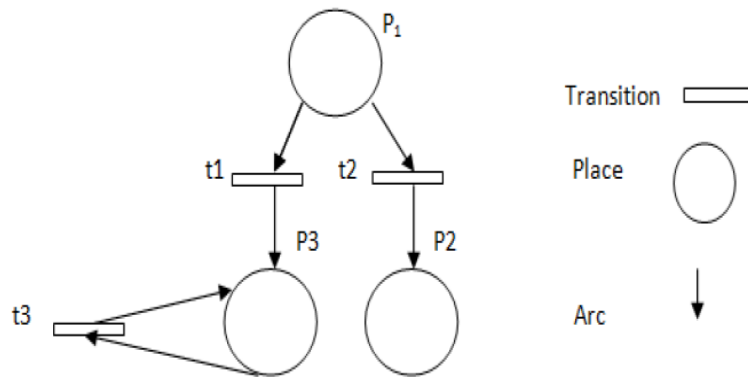


FIGURE 2.1 – Représentation graphique d'un RdP

Représentation matricielle

Si les ensembles P et T sont ordonnées (numérotés), les fonctions W^- et W^+ peuvent être définies comme des matrices dont les lignes sont indiquées par les m numéros de places et les colonnes par n numéros de transitions.

- On appelle matrice de précondition, notée Pre , la matrice de dimension (n,p) à coefficient dans \mathcal{N} , définie par :
 $Pre(i, j) = W^-(p_i, t_j)$: indique le nombre de marquages qui doit contenir la place p_i pour que la transition t_j soit franchissable.
- On appelle matrice de postcondition, notée $Post$, la matrice de dimension (n,p) à coefficient dans \mathcal{N} , définie par :
 $Post(i, j) = W^+(p_i, t_j)$: indique le nombre de marquages déposées dans la place p_i à la suite du franchissement de la transition t_j .

- On appelle matrice d'incidence du réseau RdP, notée C , la matrice de dimension (n,p) à coefficients dans \mathcal{N} définie par :
 $C = W^+ - W^-$: donne la modélisation pour la place p_i , résultant du franchissement de t_j .

2.2.3 Dynamique des Réseaux de Petri

La dynamique d'un RDP correspond à l'évaluation de son marquage au cours du temps (évolution de l'état du système). Il se traduit par un déplacement de marques, ce qui s'interprète comme la consommation/ production de ressources déclenchées par des événements, ou des actions. Déterminer l'évolution d'un RDP correspond, par exemple, à le simuler.

Réseau de petri marqué

On appelle marquage d'un RDP la fonction $M : p \rightarrow N$ où N est l'ensemble des entiers. Le marquage peut être représenté par un vecteur $M = (m(p_1), m(p_1), \dots, m(p_1))$. Il indique à un instant donné l'état du RDP. On appelle RDP marqué le couple (PN, M_0) , où :

- PN est un réseau de Petri ;
- M_0 est le marquage initial d'un RdP définissant ainsi l'état initial du réseau avant tout franchissement.

$$M_0 : p \rightarrow N$$

Franchissement d'une transition

Règle de franchissement :

Le franchissement d'une transition d'un RDP s'effectue lorsque toutes les places en amont de cette transition contiennent au moins une marque, la transition est validée peut être franchie. Les marques sont alors enlevées à des places en amont et sont déposées dans les places en aval de la transition.

Temps de franchissement :

Un temps est associé à chaque transition. Ce temps indique la durée pendant laquelle la marque doit attendre avant de franchir la transition. Pour être plus exact, il s'agit de la durée entre le moment où la transition est sensibilisée et le

moment où la transition est franchie. Ce temps est une variable aléatoire qui suit une distribution exponentielle.

Le paramètre de la fonction densité de probabilité associée à la transition t_i est le taux de franchissement noté μ_i . C'est à dire que la transition temporisée est franchie avec un temps aléatoire de moyenne d_i , avec $d_i = \frac{1}{\mu_i}$.

2.2.4 Propriétés des réseaux de Petri

Ces propriétés dépendent à la fois du marquage initial M_0 et de la structure du réseau. Parmi ses propriétés nous citons :

Réseau borné

La bornitude d'un RdP exprime le fait que le nombre d'états accessibles par le marquage initial M_0 est fini, autrement dit, le nombre de marquages accessibles est fini. Dans le cas contraire, où le RdP est non borné, le nombre d'états est infini et ceci est dû au fait que certains paramètres de ce système sont non bornés [20].

Réseau sans blocage

Un RdP est dit bloqué si à une certaine étape son franchissement s'arrête et aucune transition n'est franchissable.

Un marquage M' d'un réseau (PN, M_0) est appelé marquage puits(mort) si aucune transition n'est franchissable à partir de M' . Un réseau (PN, M_0) est dit sans blocage si tout marquage accessible depuis M_0 n'est pas un marquage puit. Un réseau RdP est dit sans blocage s'il existe un marquage initial M_0 tel que (PN, M_0) soit sans blocage.

Vivacité

On dit qu'une transition T_j est vivante pour un marquage initial M_0 si pour tout marquage accessible de M_0 , il existe une séquence de franchissement T^* qui contienne la transition T_j , à partir de M_i .

Un RdP est dit vivant pour un marquage initial M_0 si toutes ses transitions sont vivantes.

quasi-Vivant

Lorsque toutes les transitions sont franchissables par une séquence de tirs à partir du marquage initial M_0 .

2.2.5 Classes des réseaux de Petri

Divers extensions ont été portées aux RDP classiques, ce qui a donné naissance à plusieurs formalismes de RDP. Ces formalismes introduisent entre autres l'aspect temporel, l'aspect stochastiques, etc. Ce qui a enrichi les structures des RDP [21].

Réseaux de Petri généralisés

Un RDP généralisée est RDP dans lequel des poids (nombres entiers strictement positifs) sont associés aux arcs. Ces poids peuvent être différents de 0 ou 1. Tous les arcs, dont le poids n'est pas explicitement spécifié, ont un poids de 1.

Soit un arc reliant une place P à une transition T ayant un poids égal à P , alors la transition T ne sera validée que si la place P contient au moins P jetons. lors du franchissement de cette transition, P jetons seront retirés de la place P .

Réseaux de Petri à arcs inhibiteurs

Un arc inhibiteur est un arc orienté qui part d'une place pour aboutir à une transition (et non l'inverse). Son extrémité est marquée par un petit cercle [4].

La présence d'un arc inhibiteur entre une place P et une transition T signifie que la transition T n'est franchie que si la place P ne contient aucun jeton.

Réseaux de Petri colorés

Lorsque le nombre d'entités du système à modéliser est important, la taille du réseau de pétri devient rapidement énorme et si les entités présentent des comportements similaires, l'usage des réseaux de pétri colorés(RDPC) permet de condenser le modèle [5].

Les RDPC sont des réseaux de pétri dans lesquels les jetons portent des couleurs. Une couleur est une information attachée à un jeton. Cette information permet de distinguer des jetons entre eux et peut être de type quelconque. Ainsi, les arcs ne sont pas seulement étiquetés par le nombre de jetons

mais aussi par leurs couleurs.

Le franchissement d'une transition est alors conditionné par la présence dans les places en entrée du nombre de jetons nécessaires, qui en plus satisfont les couleurs qui étiquettent les arcs. Après le franchissement d'une transition, les jetons qui étiquettent les arcs d'entrée sont retirés des places en entrée tandis que ceux qui étiquettent les arcs de sortie sont ajoutés aux places en sortie de cette transition [9].

Les réseaux colorés n'apportent pas de puissance de description supplémentaire par rapport aux réseaux de pétri classiques, ils permettent juste une condensation de l'information.

A tout réseau de pétri coloré marqué correspond un réseau de pétri qui lui est isomorphe.

Réseaux de Petri temporisés

Les réseaux de Petri temporisés introduisent la notion de temps dans le parcours du réseau qui permettent de décrire un système à événement discrets dont le fonctionnement dépend du temps [8].

La temporisation représente la durée minimale de franchissement ou le temps de séjour minimum d'un jeton dans la place. Il existe deux sortes de RdP temporisés : RdP T-temporisés et des RdP P-temporisés.

Réseau de Petri T-temporisé

Les réseaux de Petri T-temporisés fonctionnent de la manière suivante : lorsqu'un jeton franchit une transition, celui-ci est réservé pendant un certain temps. C'est seulement après ce temps d'attente que le jeton franchira effectivement la transition.

Réseau de Petri P-temporisé

Ce modèle a été élaboré par Sifakis [22] tel que, une temporisation (valeur rationnelle positive) est associée à chaque place qui représente la durée de séjour minimale d'une marque dans cette place. On notera par d_i la temporisation de place p_n .

Le RdP P-temporisé est défini par le couple $((PN, M_0), d)$ tel que :

- (PN, M_0) : Réseau marqué.
- $d : P \rightarrow Q^+$ est la fonction de temporisation (d_i =temps que passent les marques dans la place p_i).

L'état de disponibilité d'un jeton permet de spécifier la durée nécessaire pour effectuer une opération sur un produit donné.

Réseaux de Petri temporels

Ces modèles ont introduits par [23] pour la modélisation et l'analyse des systèmes de communication. Une transition dans ce RdP peut être franchie seulement lorsqu'une durée de temps comprise dans l'intervalle du temps associé à la transition ou bien à la place s'est écoulée depuis l'instant de sa validation. La transition t_i doit rester sensibilisée durant au moins $d_{i\min}$ unités de temps et au plus $d_{i\max}$ unités de temps avant d'être franchie. Par contre les jetons peuvent à tout moment être consommés par une autre transition.

Réseaux de Petri stochastiques

Dans un RdPS (Réseaux de Petri Stochastiques), la durée affecté n'est plus déterministes mais aléatoire. On peut grâce à cette particulière prendre en compte des évènements probabilistes comme la panne d'une machine. On utilise généralement la temporisation suivant une loi exponentielle.

2.2.6 Réseaux de Petri stochastiques

Les réseau de pétri stochastiques (RdPS) ont été définis par Florin dès 1978 pour répondre à des problèmes informatiques liés à la sûreté de fonctionnement [24][25].

Bien entendu, ce concept a largement été développé dès le début des années 80 (Molley, 1982, Florin et Natkin, 1985) pour répondre aux exigences de la modélisation de plus en plus complexes comme par exemple la modélisation des systèmes de production.

Dans un RDP temporisé, une durée fixe est associée à chaque place ou transition du réseau . On obtient des modèles qui sont bien adaptés pour étudier des systèmes où les durées opératoires sont fixes. Cependant, il existe des phénomènes qui ne peuvent pas être bien modélisés avec des durées opératoires constantes.

Dans ces cas, chaque durée est modélisée par une variable aléatoire [8]. Nous obtenons alors un RDPS, dans lequel un temps aléatoire est associé au franchisse-

ment d'une transition. Différentes mesures de performances peuvent être effectuées en utilisant les RDPS telle que :

la fréquence moyenne de franchissement d'une transition ;

le temps moyen de séjour d'une marque dans une place.

Types de réseaux de Petri stochastiques

De nombreuses classes de RDPS sont proposées pour l'analyse des performances des systèmes de production. Les caractéristiques des différentes classes de RDPS se situent essentiellement dans la nature des transitions utilisées. Initialement un RDPS a toutes ses transitions temporisées avec un temps aléatoire qui est distribué avec une loi exponentielle, mais nous retrouvons d'autres types de transitions [26] :

Les réseaux de Petri stochastique étendus

Le réseau se compose uniquement de transitions temporisées aléatoires. Le temps est distribué avec une loi quelconque. Le processus stochastique sous-jacent au graphe des marquages est avec quelques restrictions un processus semi-markovien.

Les réseaux de Petri stochastiques et déterministes

Cette classe de réseau contient des transitions immédiates, des transitions à temporisations déterministes et des transitions à temporisations stochastiques distribuées avec une loi exponentielle

Les réseaux de Petri stochastiques régénérateurs markoviens

C'est une généralisation des réseaux de Petri stochastiques et déterministes. Le réseau comporte des transitions immédiates, des transitions à temporisations déterministes et des transitions à temporisations stochastiques distribuées avec une loi quelconque. Le processus sous-jacent est un processus de Markov régénérateur.

Les réseaux de Petri stochastiques généralisés

Le réseau se compose de transition avec une temporisation nulle (transition immédiate) et de transitions avec une temporisation aléatoire distribuées exponentiellement. Le processus stochastique sous-jacent au graphe des marquages est un processus de Markov à temps continu.

La chaîne de Markov associé à un RdPSC

Une chaîne de Markov (CTMC) peut être conduite à partir de l'arbre d'admissibilité où les états de la chaînes de Markov sont les marquages tangibles de l'arbre. Les marquages événementiels sont fusionnés avec leurs successeurs (marquage tangibles)[8].

Les taux de transition de la CTMC sont les taux de tir du RdPSG. Le générateur infinitesimal A de la CTMC est alors une matrice carrée de dimension $(r \times r)$ (r : est le nombre fini de marquages tangibles d'un RdPSG) qui regroupe l'ensemble des taux de transition d'un marquage vers un autre.

Une chaîne de Markov (CTMC) peut être conduite à partir de l'arbre d'admissibilité où les états de la chaîne de Markov sont les marquages tangibles de l'arbre. Les marquages événementiels sont fusionnés avec leurs successeurs (marquages tangibles). Les taux de transition de la CTMC est alors une matrice carrée de dimension $(r \times r)$ (r : est le nombre fini de marquages tangibles d'un RdPSG) qui regroupe l'ensemble des taux de transition d'un marquage vers un autre.

Méthodes d'analyse des RdPS

La phase d'analyse est une étude des propriétés du modèle pour en déduire des propriétés associées du système initial. Il existe deux types d'analyses : l'analyse qualitative et quantitative.

L'analyse qualitative

A partir de modèles de type événementiel comme les RdPS ou les automates on peut étudier des cas tels que :

- Les possibilités de blocage du modèle, généralement révélatrices d'erreurs de conception dans le système réel ;
- Certaines propriétés d'atteignabilité pour des états donnés du système ;
- La détermination de certaines invariants du modèle qui ont généralement des propriétés physiques intéressantes

Evaluation des indices de performances(L'analyse quantitative)

Une fois le modèle obtenu, nous pouvons vérifier ses propriétés qualitatives, puis déduire son ergodicité pour faire l'analyse quantitative [7]. Si le modèle est ergodique, alors la distribution de probabilité des marquages à l'état stationnaire existe et elle est unique.

Nous notons par $\pi_i = (\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_n)$ cette distribution des probabilités où π_i

est la probabilité que le processus est à l'état M_i .

Ayant π , plusieurs indices de performances peuvent être calculés. Parmi ces indices les plus importants [6], on a

- Le taux moyen de franchissement d'une transition $\bar{\lambda}(t_i)$:

On appelle le taux moyen de franchissement d'une transition t_i , le nombre moyen de tirs de t_i en unité de temps.

$$\bar{\lambda}(t_i) = \sum_{M_j \in E(t_i)} \lambda_i(M_i) \pi_j;$$

Où :

- $E(t_i)$ est l'ensemble des marquages où la transition t_i est franchissable ;
 - $\lambda_i(M_i)$ est le taux de franchissement associé à la transition t_i dans le marquage (M_i) .
- Le nombre moyen de marques dans une place :

En utilisant La formule suivante pour calculé le nombre moyen dans une place P :

$$n(p) = \sum_{M_i \in E} M_i(p) \pi_i;$$

Où :

- $M_i(p)$ est le nombre de jetons dans la place p pour le marquage (M_i) ;
- E est l'ensemble des marquages accessibles.
- Le temps moyen de séjour d'une marque dans un sous-réseau :

$$E[T] = \frac{E[N]}{E[\beta]}$$

Le délai moyen d'un jetons passe dans une partie S d'un RdPSG à l'état stationnaire, en utilisant la formule de Little pour le calculé.

2.2.7 Application des RdPS dans les systèmes de production

2.2.8 Outils de simulation de RdPS

L'aspect formel des RdP a encouragé les développeurs à mettre au point une multitude d'outils de simulation et de vérification des RdP comme : JARP, MARIA, Petri Net, LOLA, ORIS, etc... . La plupart de ces outils présentent un environnement graphique d'édition des RdPS avec la possibilité de simuler le modèle et d'analyser des propriétés génériques des RdPS avec la possibilité de simuler le modèle et d'analyser des propriétés génériques des RdPS. Tous ces logiciels sont disponibles dans [19].

2.3 Théorie des files d'attente

2.3.1 Rappel sur les systèmes de files d'attente

Modèles Markoviens

Les modèles markoviens de files d'attente sont des systèmes où les deux quantités stochastiques "les temps des inter-arrivées" et "les durées de service" sont des variables aléatoires indépendantes, exponentiellement distribuées. La propriété "sans mémoire" de la loi exponentielle facilite l'analyse de ces modèles [10].

Modèles non Markoviens

En s'écartant de l'hypothèse d'exponentialité de l'une des deux quantités stochastiques "les temps des inter-arrivées" et "les durées de service" ou en introduisant des paramètres supplémentaires spécifiques au modèle étudié, on n'aura plus de processus Markovien. Ce qui rend l'analyse du modèle très délicate, voire impossible. c'est pourquoi, souvent on se ramène à un processus Markovien [10].

Identification d'une file d'attente

L'identification d'un système de files d'attente classique se fait avec les éléments principaux suivants :

Processus d'arrivée

Le processus des arrivées spécifie les instants auxquels les clients arrivent dans le système. Il existe plusieurs lois de probabilités. Nous avons : la distribution exponentielle ou de poisson (M), la loi dégénérée (φ), la distribution d'Erlang d'ordre $K(E_k)$ et la distribution générale.

Processus de service

Le temps de service est la durée nécessaire au traitement d'un client, il est supposé

être une variable aléatoire indépendante et identiquement distribuée.

Nombre de serveurs

Il détermine le nombre maximal de clients pouvant être traités simultanément. Dans le cas d'une file multiserveurs, dès qu'un serveur se libère, un des clients en attente entre en service (s'il existe des clients dans le buffer d'attente).

Capacité de la file d'attente

Nombre maximal de clients pouvant être présent dans le système à un instant donné avant d'être servi. Si un client se présente alors que le buffer d'attente est plein ce client est "perdu".

Discipline de la file

La discipline de la file d'attente ou la stratégie de service détermine quel client est retiré de la file pour le traitement quand le serveur devient libre.

Les principales disciplines de service utilisées sont :

FIFO(First In First Out) : Premier Arrivé, Premier Servi,

LIFO(Last In First Out) : Dernier Arrivé, Premier Servi,

PS(Processus Sharing) : Processus Partagé,

FIRO(First In Random Out) : Aléatoire,

Représentation d'un système d'attente

Un système d'attente peut être représenté, dans le cas d'un seul serveur comme suit :

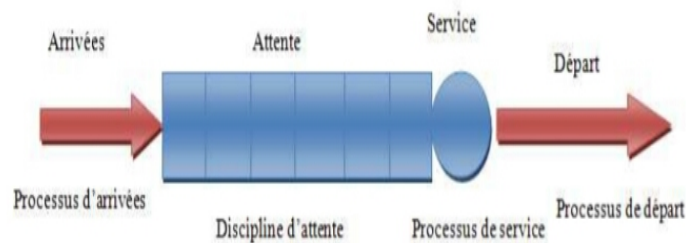


FIGURE 2.2 – Représentation d'une file d'attente

ou dans le cas de plusieurs serveurs suit :

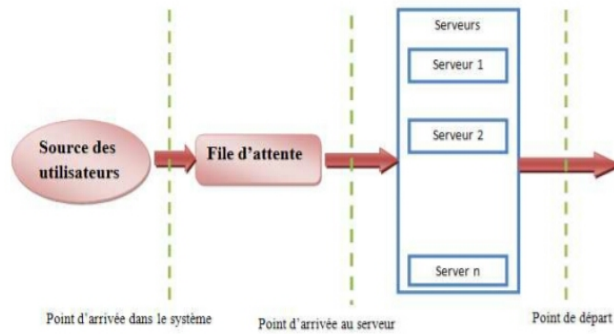


FIGURE 2.3 – File d'attente avec plusieurs serveurs

2.3.2 Caractéristiques d'un système d'attente

Notation de Kendall :

Pour décrire un système de file d'attente élémentaire, Kendall a introduit en 1953 une notation pour classer les files d'attente en différents types, Un système de file d'attente est présenté généralement suivant la notation de Kendall définie comme suit : $A/B/s(/N/K/DS)$. Cette notation décrit une file d'attente par les facteurs suivants :

- A : Distribution des temps entre deux arrivées successives,
- B : Distribution des durées de service,
- s : Nombre de postes de service en parallèle,
- N : Capacité du système (serveurs+file d'attente)

le dernier symbole sera toutefois supprimé si $N = \infty$.

Pour spécifier les distributions A et B, on adopte la convention suivant :

- M : Distribution exponentielle,
- E_k : Distribution d'Erlang D'ordre K,
- D : Cas déterministe (la variable ne prend qu'une seule valeur admise), une loi constante,

GI loi générale indépendante,

- H_k : loi hyperexponentielle d'ordre K.

En plus des notations introduites ci-dessus, on utilisera les grandeurs suivantes :

- $1/\lambda$: Intervalle moyen séparant deux arrivées consécutives, d'où
- λ : Taux des arrivées,
- $1/\mu$: durée moyenne de service, d'où
- μ : taux de service.

2.3.3 Mesures de performance

Les gestionnaires ont à leur disposition cinq outils de mesure ou indices pour évoluer la performance d'un système de file d'attente existant ou qu'ils veulent concevoir. Ces mesures sont :

1. Le nombre moyen de clients qui attendent en file ou dans le système.
2. Le temps moyen d'attente en file et dans le système.
3. Le taux d'utilisation du système, c'est à dire le pourcentage de la capacité utilisée.
4. Le coût associé au niveau de service (capacité) mis en place.

La probabilité qu'un client potentiel attende pour être servi.

parmi ces cinq outils de mesure, le taux d'utilisation du système nécessite quelques éclaircissements. Il reflète l'étendue de l'occupation des serveurs plutôt que leur inactivité.

Il est logique de penser qu'une bonne gestion des ressources implique un taux d'utilisation de 100.

2.3.4 Réseaux des files d'attente

La modélisation d'un système à l'aide d'une seule file d'attente n'offre qu'un champ d'application. Bien souvent, un client a besoin de recevoir plusieurs traitements consécutifs et de différentes natures avant de quitter le système. Pour modéliser ce type de situation il faut relier plusieurs files d'attente entre elles d'où la notion des réseaux des files d'attente.

Définition(Réseau ouvert)

Un réseau de files d'attente est dit **ouvert** lorsque des arrivées de clients depuis l'extérieur du système sont possible et lorsque les clients peuvent quitter le système. Apriori, les arrivées externes peuvent avoir lieu dans n'importe quelle station et il en de même des départs, l'important étant que tout client entrant ou présent dans le système ait une possibilité de le quitter après un temps fini[11].

Définition(Réseau fermé)

Un réseau de file d'attente est dit **fermé** si aucun client ne peut ni entrer dans le système ni le quitter. Le nombre de clients dans un réseau fermé est donc constant au cours du temps[11].

Définition(Réseau mono ou multi classe)

Il peut circuler dans un réseau à plusieurs classes de clients. Les clients d'une même classe ont tous un comportement identique (temps de service et identique). Pour décrire un réseau multi-classe, il faut décrire :

- Chaque station pour chaque classe de clients,

- Le cheminement pour chaque classe de clients,
- Le processus d'arrivée pour chaque classe de clients (pour les réseaux ouverts) ou, le nombre total de client pour chaque classe de clients (pour le réseaux fermés).

Réseaux de Jackson

Un réseau de Jackson est composé de n files exponentielles c'est-à-dire de files d'attente :

- Comportement chacune un ou plusieurs serveurs identiques (m_j pour la file j);
- Fournissant des services de durée exponentielle (le taux de service de la file j est noté μ_j);
- De capacité infinie;
- Utilisant une discipline de service FIFO.

Les clients (appartenant tous à la même classe) arrivent dans le système selon des processus de Poisson indépendants, le taux d'arrivée externe dans la file j étant égal à γ_j .

Règles de routage

Après avoir terminé son service à la station j , un client se déplace à la station K avec une probabilité r_{jk} où :

$$r_{j0} = 1 - \sum_{k=1}^n r_{jk}$$

De telles règles définissent un routage markovien.

2.3.5 Système multi-phases

On convient d'appeler ainsi le réseau de configuration particulière représenté sur la figure suivante[11] : Un tel système est constitué de n stations S_1, S_1, \dots, S_n disposées en série. Chaque station S_i est constituée de m_i serveurs statistiquement identiques et fonctionne selon le schéma classique. L'itinéraire de chaque usager est donné par l'algorithme suivant :

$a = (i, i + 1, \dots, j_1, j)$, où i est le numéro de la phase initiale de service de l'utilisateur et j celui de la dernière phase.

Le flot des arrivées dans le système S_i est la somme du flot des arrivées en provenances de la source extérieure et de celui des usagers qui quittent S_{i-1} pour se rendre dans S_i .

Soit :

- Les taux du flot des arrivées dans S_i en provenances de l'extérieur ;
- Le taux du flot des départs de S_i vers l'extérieur ;
- Le taux du flot total des arrivées dans S_i ;
- La probabilité pour qu'à l'issue de son séjour à la phase S_i le client quitte la station.

Dans le paragraphe suivant nous démontrons un résultat analogue pour les réseaux exponentiels.

Choix de l'outil de modélisation

Nous pouvons modéliser les différentes actions des phases du processus de conditionnement d'huile. Ces actions sont conditionnées par des aléas de fonctionnement des machines, de l'opérateur humain et de la demande. Le choix du modèle stochastique s'avère nécessaire, nous choisissons les réseaux de Petri stochastiques (RdPS).

L'intérêt des RdPS est de pouvoir combiner l'analyse qualitative. Avec les RdPS, on pourra calculer par exemple :

- ✓ La disponibilité ;
- ✓ Le niveau de productivité.

2.4 Évaluation de performances

L'évaluation des performances s'intéresse au calcul des paramètres de performances d'un système. Les paramètres de performances que l'on souhaite obtenir sous forme de grandeurs quantitatives peuvent se présenter sous différents ordres. On peut par exemple citer :

- ✓ Dans les réseaux de communication, le paramètre de performance le plus im-

portant est le temps de réponse (délai d'acheminement) qui mesure le temps qui sépare l'émission d'un message de sa réception par le destinataire.

✓ Dans les systèmes de production, le paramètre de performance le plus retenu est le débit en produit fini.

✓ Dans un domaine plus pratique (celui d'un guichet d'un organisme), on peut distinguer deux paramètres importants. Pour l'utilisateur, celui-ci s'intéresse au temps d'attente, mais pour la direction de l'organisme, c'est le nombre de clients qui importe le plus.

2.4.1 Concept d'évaluation de performances

Pour faire l'évaluation de performances, on doit disposer de deux éléments

- **Un système** : c'est l'entité dont on évalue les performances. En gros, un système est considéré comme étant un ensemble de ressources partagées entre différentes tâches. La caractéristique commune pour de tels systèmes est la présence de temps d'attente pour l'accès à ces ressources partagées.
- **Une charge** : la charge du système représente généralement le trafic en entrée, qui pourrait être l'ensemble de messages servis par un dispositif du réseau, le nombre de tâches à exécuter par un processeur. Le trafic est généralement décrit par des lois probabilistes (Poisson, Exponentielle,...).

2.4.2 Etapes d'évaluation de performances

L'évaluation de performances d'un système se résume principalement en trois étapes :

- **Étape 1** : Comprendre le principe du fonctionnement du système.
- **Étape 2** : Établir le modèle plus fidèle possible aux caractéristiques du système.
- **Étape 3** : Évaluer les performances du système selon le formalisme du modèle.

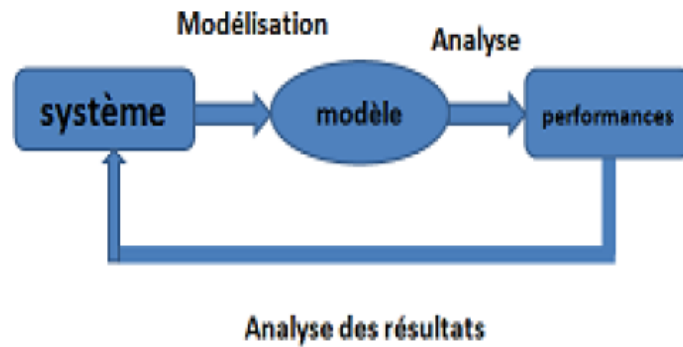


FIGURE 2.4 – Schéma d'évaluation de performances d'un système

Ce schéma se décompose en une étape de modélisation permettant de passer du système au modèle et une étape d'analyse des performances du modèle. Le rebouclage n'a lieu que si les performances obtenues ne sont pas celles espérées. Une fois un modèle construit dans le formalisme choisi, il s'agit de l'analyser. On distingue deux grands types d'analyse, l'analyse qualitative et l'analyse quantitative.

2.4.3 Techniques de l'évaluation de performances

Il existe différentes techniques pour l'évaluation de performance d'un système :

Les techniques de mesure

Les techniques de mesure consistent à connecter au système opérationnel des moniteurs ou des analyseurs pouvant échantillonner l'activité du système, leur avantage est qu'elles permettent de comprendre le vrai comportement du système. Mais faire des mesures sur des systèmes réels n'est pas toujours possible car cela pourrait gêner le fonctionnement du système, s'avérer onéreuse (système non encore existant, instruments de mesure complexes, ...). Les résultats issus de la mesure ne sont pas généralisables, car il ne reflètent qu'une seule trajectoire du système.

Les méthodes analytiques

Il s'agit de réduire le système en un modèle mathématique et de l'analyser numériquement. L'approche analytique est parfois rapide à réaliser, mais présente le souci de la représentation fidèle du système. Il est parfois très complexe de modéliser le comportement réel du système mathématiquement. Généralement, on

pose des hypothèses qui simplifient l'étape de modélisation du système et rendent l'évaluation numérique faisable. Ces hypothèses peuvent toucher à la fidélité de la représentation du système, mais permet toute fois de traduire son comportement approché. Il existe de nombreux outils mathématiques permettant de telle évaluation :

– **Les automates et les réseaux de pétri**

Les automates et les réseaux de pétri sont principalement utilisés pour représenter le comportement logique d'un système. Ils fournissent un modèle graphique de description des opérations d'une machine informatique, et sont particulièrement adaptés pour décrire les phénomènes de concurrence, de conflits et de synchronisation. Les réseaux de pétri sont employés en particulier pour la validation des protocoles de transmission de données, l'évaluation de performances de systèmes informatiques (performances d'architectures distribuées, étude du fonctionnement logiciel d'une base de données, ...etc).

– **Les approches probabilistes**

✓ **Les chaines de Markov**

Ils facilitent l'analyse des performances des systèmes dynamiques dans de nombreux domaines d'application grace à un ensemble de théorèmes qui permettent de mettre en oeuvre des calculs matriciels pour l'obtention des indices de performances attendus ;

✓ **La théorie des files d'attente**

Les publications sur la théorie des files d'attente on adapté un langage de plus en plus mathématique ce qui a freiné son utilisation toute fois la situation a changé quand les gens ont commencé à appliquer la théorie des files d'attente à l'évaluation des performances. On les rencontre en permanence dans la vie courante, par exemple, dans un guichet, dans un atelier de fabrication, dans un central téléphonique, etc ;

✓ **Les réseaux de files d'attente**

Les réseaux de files d'attente sont connus pour etre des modèles d'évaluation des performances des systèmes informatiques et des réseaux de télécommunications. Le terme "réseaux de files d'attente" désigne une situation ou

l'entrée d'une file d'attente est la sortie d'une ou de plusieurs autres. Ceci est vrai pour beaucoup de systèmes informatiques.

– **Les réseaux de Pétri :**

Les chaînes de Markov permettent de faire une analyse quantitative sur un système. Nous allons voir un modèle de plus haut niveau qui est "les réseaux de Pétri", ça va nous permettre de faire une analyse qualitative et quantitative.

La simulation

La simulation est une technique largement utilisée dans l'évaluation de performances des systèmes informatiques et réseaux de communication. Il s'agit d'implanter un modèle simplifié du système à l'aide d'un programme de simulation adéquat. Elle présente l'avantage par rapport aux méthodes analytiques de traduire le comportement du système à l'évaluer d'une manière plus réaliste et représente un moyen utile pour prédire les performances d'un système et les comparer sous différentes configurations.

La simulation permet en plus de visualiser les résultats sous formes de graphes faciles à analyser et à interpréter. Elle rend possible l'analyse systématique des systèmes lorsque les solutions analytiques ne sont pas disponibles et l'expérimentation sur le système considéré est impossible ou non pratique.

2.4.4 Obtention des indices de performances

Nous sommes intéressés par calculer l'état stationnaire du modèle. c'est-à-dire, la proportion de temps que la chaîne de Markov reste dans chacun de ses états sur une trajectoire de durée infinie. Cette solution est exprimée par un vecteur de probabilité associant calculer plusieurs informations sur le système modélisé, par exemple le nombre moyen de tâches traitées, les délais moyens, etc.

Cette résolution correspond à l'obtention du vecteur π solution du système :

$$\pi A = 0$$

avec :

$$\sum \pi_i = 1$$

où :

A est une matrice décrivant le processus de Markov appelée générateur infinitésimal.

Parmi les méthodes de résolution nous pouvons faire la distinction entre :

- Les méthodes analytiques ;
- Les méthodes numériques
- Les simulation.

Les méthodes analytiques sont les méthodes qui donnent une solution sans passer par la solution numérique du système $\pi A = 0$.

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques généralités sur les réseaux de pétri et les files d'attentes, définissons leurs différentes règles d'évolutions.

Les réseaux de pétri est l'un des outils de modélisation les plus puissants et les plus performant des systèmes dynamiques réels. actuellement, une immense démarche de recherche et de developpement est en cours dans les différents instituts et laboratoires de recherche. Parmi les extentions des RDP qui sont utilisées pour l'évaluation des performances, on cite les réseau de pétri stochastiques dont le principe de l'évaluation quantitative repose sur l'analyse markovienne.

Dans le chapitre suivant, nous avons modélisé la ligne de production à l'aide des RdPS et évaluer ces performances en utilisant un simulateur des RdPS (GRIF).

Chapitre 3

Modélisation et évaluation de performances de la chaîne de production

3.1 Introduction

A présent que le système de production et l'outil de modélisation ont été présentés, il est proposé dans ce chapitre l'application de cet outil pour la modélisation du système et l'évaluation de ses performances. La démarche choisie comporte deux phases essentielles.

- La première phase a pour objectif la modélisation du système à l'aide des RdPS.
- La deuxième phase consiste à l'évaluation de performances de la ligne de production en utilisant un simulateur des RdPs (GRIF).

3.2 Modélisation de la ligne de production

On ne peut pas parler de la modélisation d'une ligne de production sans évoquer certaines notions et principes de cette dernière.

3.2.1 Méthodologie de la modélisation

Notion du modèle

Le modèle est défini dans [13] comme suit :

" Le modèle est une représentation de la réalité dans un formalisme, c'est une abstraction d'un système réel qui existe déjà ou n'existe pas". L'utilisation d'un

Modélisation et évaluation de performances de la chaîne de production.

modèle, se fait suivant le schéma cyclique de la figure (3.1). Popper [14] suggère trois concepts relatifs à la notion de modèle :

- Un modèle doit avoir un caractère de ressemblance avec le système réel.
- Un modèle doit constituer une simplification du système réel.
- Un modèle est une idéalisation du système réel.

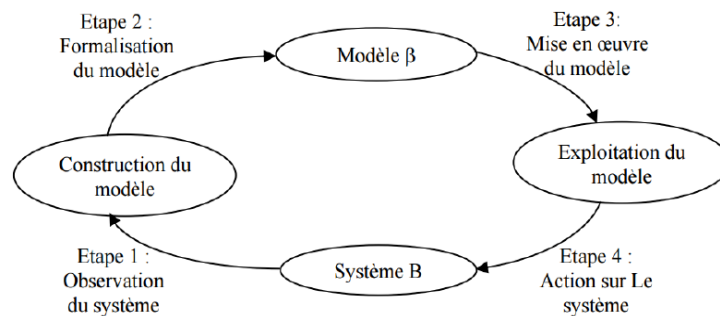


FIGURE 3.1 – Schéma d'utilisation d'un modèle

Modèle de connaissance

Le modèle de connaissance ou de fonctionnement d'un système est une formalisation dans un langage naturel ou graphique de la structure et du fonctionnement de ce système. Si le système existe, le modèle de connaissance contient l'ensemble des connaissances acquises lors de phases d'observation. Si le système n'existe pas, le modèle de connaissance contient les spécifications de topologie et de fonctionnement des concepteurs.

Modèle d'action

Le modèle d'action est une traduction du modèle de connaissance dans un :

- Formalisme mathématique : par exemple une méthode graphique qui exploite les RdPs comme notre cas d'étude.
- Langage de programmation : il est directement exploitable sur ordinateur et fournit les performances du système modélisé sans recourir à la mesure directe (par exemple un langage de simulation).

Processus de modélisation

L'exploitation du modèle de connaissance et du modèle d'action est appelée processus de modélisation [13] . Ce processus est généralement itératif. la figure (3.2) schématise ce processus.

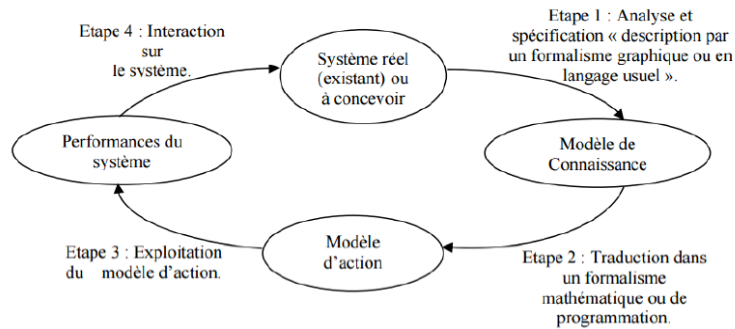


FIGURE 3.2 – Processus de modélisation

3.2.2 Formulation du modèle

La ligne de production exposée dans le premier chapitre est composée de sept machines et des stocks de capacité infinie. Le schéma structurel suivant la figure (3.2) est une représentation graphique de la ligne de production. La signification des composants de ce schéma seront exposées dans la table suivante :

Désignation	Signification
M1	Souffleuse
M2	Remplisseuse
M3	Pousseuse poignée
M4	Étiqueteuse
M5	Dateur
M6	Fardeuse
M7	Paletiseur et Bondroleuse

TABLE 3.1 – Signification des machines

3.2.3 Modélisation

Principe

- Le produit est modélisé par des jetons.
- Les actions sur le produit sont modélisées par des transitions.
- La disponibilité de l'unité est représentée par un jeton.
- Les stocks intermédiaires sont représentés par des places.

Hypothèses

- Les stocks d'entrées et de sorties sont de capacité infinie.
- Le temps de service suit une lois exponentielle de paramètre " m " qui est le taux de service de la machine de cadence minimale dans l'unité.
- L'apparition des pannes suit une lois exponentielle de paramètre λ .
- Le temps de réparation suit une lois exponentielle de paramètre μ .

Le modèle RdPS du système de production

Le modèle de la Figure 3.3 présente la modélisation de la production qui tient compte des défaillances et des réparations effectuées sur le système. Notre souci dans cette modélisation est de pouvoir soumettre le système à des défaillances et réparations tout en essayant d'émettre le comportement réel de ce dernier. C'est-à-dire qu'une unité s'arrête à l'apparition d'une panne et peut reprendre sa tâche à la fin de la réparation. Pour cela, on commence par modéliser le fonctionnement de notre ligne sans défaillance, et le cycle de la défaillance et de réparation d'une unité séparément. Après, nous allons fusionner les systèmes illustrés dans la Figure 3.1 et la Figure 3.2 pour avoir le modèle de la Figure 3.3.

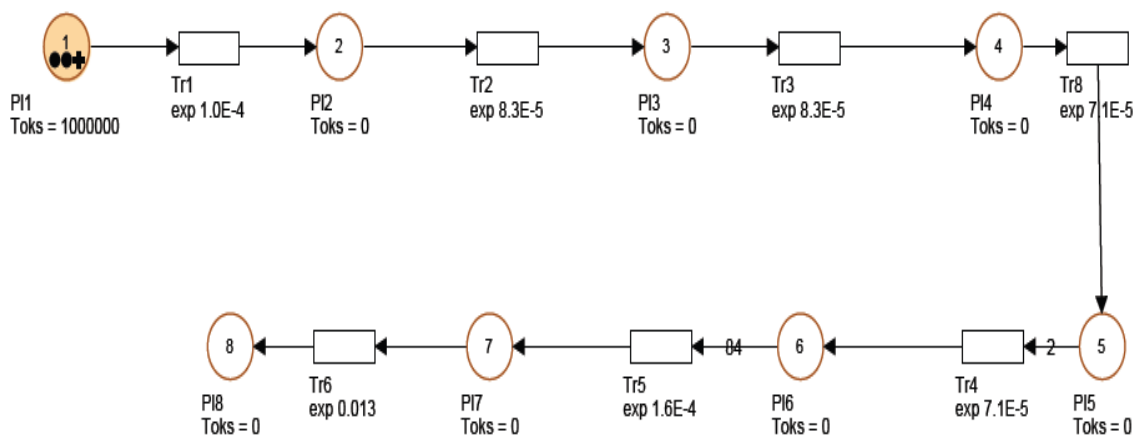


FIGURE 3.3 – Modèle du système de production sans défaillance

Le paramètre m

Dans la table suivante, nous illustrons le taux de service " m " des unités.

Transition	Paramètre " m "
T0	9000
T1	12000
T2	12000
T3	14000
T4	14000
T5	6000
T6	72
T7	72

TABLE 3.2 – Les taux de services.

Dans ce modèle Figure 3.3 sauf le produit et les actions de production sont pris en compte tel que, pour la validation de la transition Tr1 (soufflage) une ressource (Préforme) de la place P1 et nécessaire, qui sera retirée et déposée dans la place P2 après le franchissement. La transition Tr2 (Remplissage) et validée dès qu'une bouteille soufflée sera présente dans P2, après le franchissement de Tr2

Modélisation et évaluation de performances de la chaîne de production.

une bouteille remplie sera déposée dans la place P13 . La transition Tr3 (pousseuse de poigné) et validée par la présence d'une bouteilles qui sera retirée après son franchissement et sera déposée dans la place P14. La transition Tr4 (Etiquetage) et validée par la présence d'une bouteilles dans la place P14, après le franchissement un seul jeton sera déposé dans la place P15. La transition Tr5 (Datage) nécessite la présence d'une bouteille étiqueté dans la place P15 qui sera déposé dans la Place P16 après le franchissement . La transition Tr6 (Fardelage) nécessite la présence de deux bouteilles qui seront retirées après le franchissement un seul jeton sera déposé dans la place P17. La transition Tr7 (Palettisage et Bandrolage) nécessite la présence de 84 fardeaux dans la place P17, après le franchissement un seul jeton (palatte) sera déposé dans la place P18 (stock de sortie).

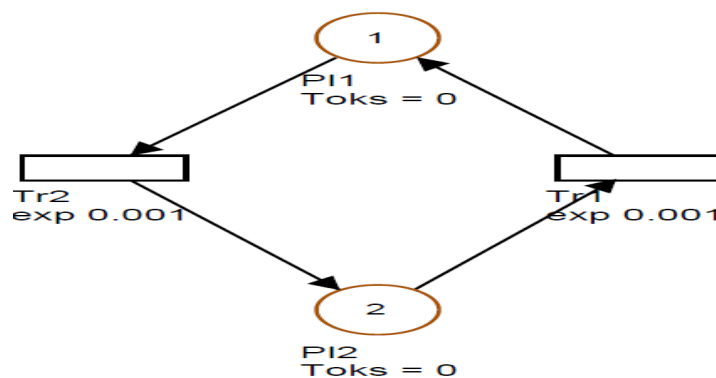


FIGURE 3.4 – Cycle de défaillance et réparation.

La Figure 3.4 représente le changement d'état de l'unité de production d'huile de l'état de bon fonctionnement à l'état de panne. La présence d'un jeton dans la place (P12) représente la disponibilité de l'unité, la transition Tr1 représente l'événement d'apparition de panne qui retirera le jeton de la place P12 qui sera déposé dans la place P11 qui marquera l'indisponibilité de l'unité, et la transition Tr2 représente l'événement de réparation qui rendra l'unité disponible.

La fusion des deux modèles précédents nous a permis de réaliser le modèle final de la ligne de production Figure 3.5 . Ce modèle, nous servira par la suite dans la simulation et l'analyse du système. La signification des places et des transitions seront donnés dans la table.

Modélisation et évaluation de performances de la chaîne de production.

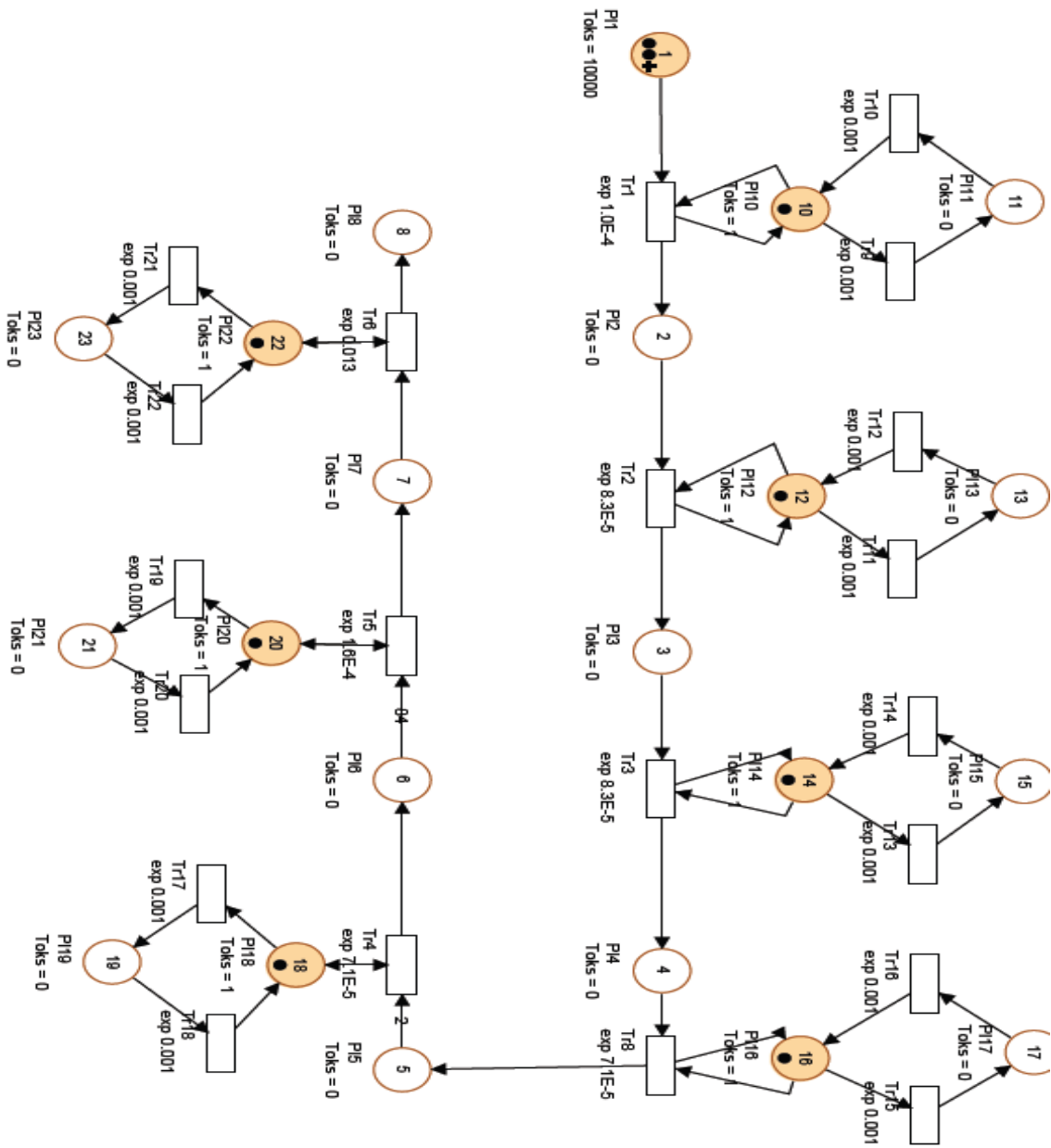


FIGURE 3.5 – Modèle RdPS du système.

3.3 Présentation de l'outil de simulation

GRIF (Graphiques Interactifs pour la fiabilité) est une plate-forme logicielle d'analyse des systèmes qui permet de déterminer les indicateurs fondamentaux de la sûreté de fonctionnement : Fiabilité, Disponibilité, Performance, Sécurité [15]. GRIF laisse le choix à l'utilisateur d'opter pour la technique de modélisation la plus adéquate à la résolution du système étudié : blocs diagrammes, arbres de défaillance, graphe de Markov, RdP.

Pour télécharger GRIF, il est disponible en version limité et commercial, pour notre cas on a utilisé la version limitée qui est disponible dans [16] qui nous donne la possibilité de construire pas plus de 100 objets (arc, place, transition,...), pour le manuel d'utilisation il est aussi disponible dans [17].

3.3.1 RdP dans GRIF

Les RdPs sont faciles à construire via une interface graphique intuitive. Dans GRIF les transitions, les arcs et des jetons peuvent être créés facilement. Une fois que le système a été modélisé, le moteur Moca-PN (Monte Carlo Petri Nets) produit de nombreux résultats, par exemple :

- Par rapport aux places : il nous donne le temps de séjours, le nombre moyen de jetons qui passent dans ces places, il nous donne aussi le nombre moyen de jeton à la fin de l'histoire dans chaque places.
- Pour les transitions, il nous donne le nombre de franchissement de ces transitions.

3.3.2 Présentation de l'interface

La fenêtre principale est décomposée en plusieurs parties :

- **Barre de titre** : La barre de titre indique le nom du module et le nom du fichier en cours d'édition.
- **Barre de menu** : La barre de menu permet d'accéder à toutes les fonctions de l'application.
- **Barre d'icônes (raccourcis)** : La barre de raccourcis est une barre (horizontale) d'icônes permettant d'accéder plus rapidement aux fonctions usuelles.
- **Barre d'outils** : La barre d'outils (verticale) permet de sélectionner les éléments à utiliser pour la modélisation.
- **Zone de saisie** : Un maximum de place a été laissé à la zone de saisie graphique pour permettre de réaliser le modèle.

Modélisation et évaluation de performances de la chaîne de production.

- **Arborescence** : L'arborescence est entre la zone de saisie et la barre d'outils. Elle permet de naviguer dans les pages et groupes du document.
- **Modèles** : La liste des modèles se situent en dessous de l'arborescence. Ils sont groupés en deux sous dossiers suivant leur lieu d'enregistrement (Répertoire utilisateur ou d'installation).
- **Ensemble des tableaux** : Les tableaux de données sont regroupés dans des onglets à droite de la zone de saisie.

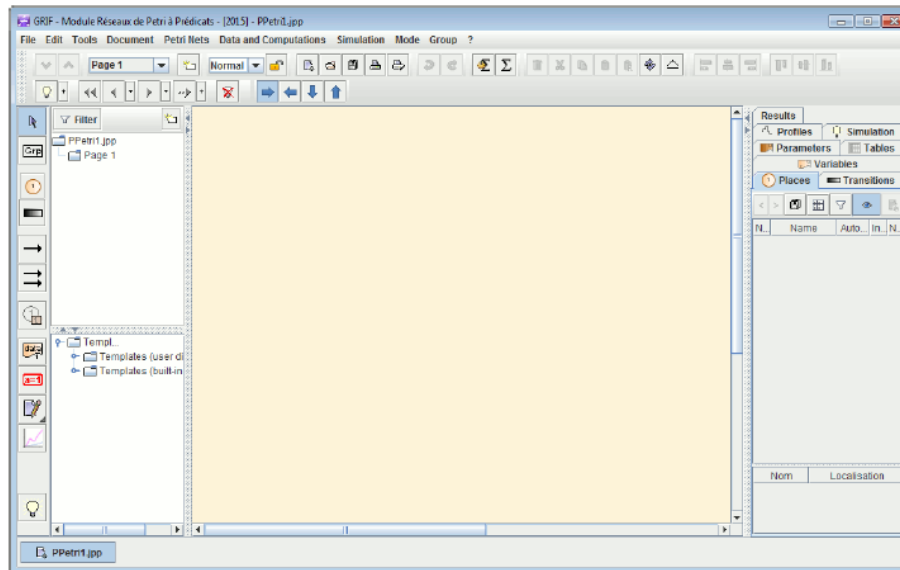


FIGURE 3.6 – Interface de GRIF

3.3.3 Création d'un RdP avec GRIF

L'ensemble de symboles graphiques relatifs aux réseaux de Petri est représenté sur la barre d'icônes placées verticalement à gauche de la fenêtre de saisie.



FIGURE 3.7 – Barre d'icônes

La barre d'outils verticale comporte les éléments suivants :

- Places représentées par des cercles ;
- Transitions représentées par des rectangles ;
- Arcs amont et aval représentés par des flèches ;
- Place répétée (ou Renvoi) pour réaliser des liaisons entre plusieurs parties du même modèle (sur des pages Ou dans des groupes différents) ;
- Commentaire pour ajouter du texte directement sur le graphique ;
- Affichage dynamique pour afficher une valeur d'un élément du modèle ;
- Variables locales pour créer des variables liées uniquement à une partie du modèle ;
- Courbe pour tracer des courbes représentant des calculs sur le modèle ;
- Simulation permettant de passer en mode simulation (mode animation).

3.3.4 Utilisation du Moca-PN

La fenêtre de paramétrage des calculs est accessible de deux manières différentes : soit par le menu Données et calculs, Données Moca soit par Données et calculs Lancer Moca.... La différence entre les deux est que dans le second cas, l'étape de paramétrage est directement suivie par l'étape de lancement des calculs. La fenêtre de paramétrage qui est ainsi ouverte est appelée Lancement des calculs Moca. Cette fenêtre de paramétrage est composée de plusieurs parties :

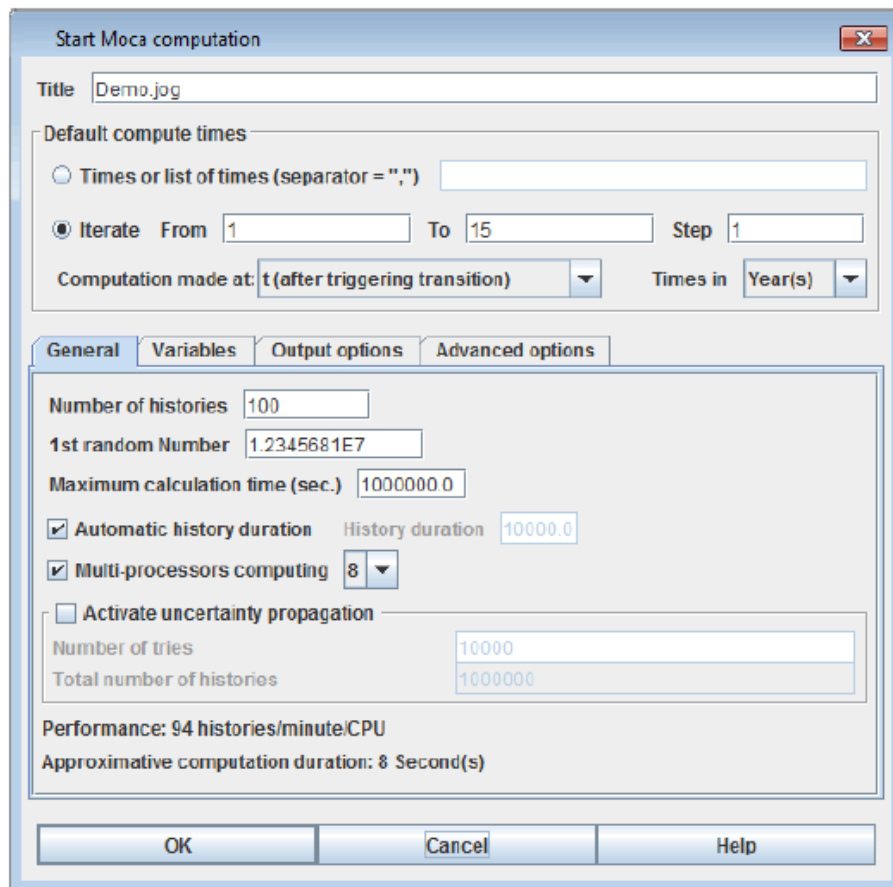


FIGURE 3.8 – Fenêtre de paramétrage du Moca-PN

1. **Titre** : permet de donner un titre au fichier résultat.
2. **Temps de calcul par défaut** :
 - Itération De A à B pas C : les calculs seront effectués pour des valeurs de t allant de A à B par pas de C.
 - Liste de temps : les calculs seront effectués pour les valeurs de t données dans cette liste.
 - Unité : les calculs sont effectués par défaut en heures. Il est possible de spécifier l'unité dans laquelle ont été saisis les temps de calcul. Les résultats seront toujours afficher en heures.
3. **Général** :
 - Nombre d'histoires : Nombre d'histoires (NH) à simuler ;
 - $1^{er} N^{\circ}$ au hasard : Graine du générateur de nombres aléatoires ;
 - Temps de calcul maximum : Temps (en secondes) au bout duquel Moca

- arrêtera de simuler de nouvelles histoires ;
 - **Durée automatique de l’histoire** : Si cette case est cochée, GRIF va calculer la durée de l’histoire en fonction des temps de calcul de l’ensemble des variables et états statistiques. Sinon l’utilisateur peut spécifier la Durée d’une histoire ;
 - **Calcul multi-processeurs** : Permet d’activer le calcul multi-processeurs et d’indiquer le nombre d’instances Moca lancées.
4. **Variables** : L’onglet variables rappelle et permet de modifier la configuration du calcul pour chaque variable. Si le document contient des états statistiques, un onglet supplémentaire sera disponible ;
5. **Options de Sortie** : permet de paramétrer la sortie :
- Impression ou non de la description du RdP dans le fichier résultat ;
 - Impression du fichier résultat permettant de le recharger à l’aide d’un tableur (type EXCEL) ;
 - Impression ou non des délais censurés ;
 - Nombre de sorties durant la simulation (si 2, alors il y aura une sortie au bout de $NH/2$ et une au bout de NH).
6. **Options avancées** : utilisé pour configurer les options avancées ;
7. On peut choisir la limite pour le nombre de tirs instantanés avant détection d’une boucle.

3.4 Les paramètres de simulation

Dans cette section, nous allons décrire les scénarios sur lesquels nous allons soumettre notre système pour évaluer ses performances. Ces cas seront présentés ci-dessous :

- **Cas 1.1** : Des défaillances fréquentes avec des petites durées de réparation ;
- **Cas 1.2** : Des défaillances fréquentes avec des durées de réparation moyennes ;
- **Cas 1.3** : Des défaillances fréquentes avec de grandes durées de réparation ;
- **Cas 2.1** : Des défaillances moyennes avec de petites durées de réparation ;
- **Cas 2.2** : Des défaillances moyennes avec des durées de réparation moyennes ;
- **Cas 2.3** : Des défaillances moyennes avec de grandes durées de réparation ;
- **Cas 3.1** : Des défaillances rares avec de petites durées de réparation ;
- **Cas 3.2** : Des défaillances rares avec des durées de réparation moyennes ;
- **Cas 3.3** : Des défaillances rares avec de grandes durées de réparation.

La table suivante donne un peu plus de détails sur les taux de défaillances et de réparations :

Modélisation et évaluation de performances de la chaîne de production.

Cas	Taux de défaillance	Taux de réparation
Cas 1.1	1 défaillance par 24 heures	1 réparation par heure
Cas 1.2	1 défaillance par 24 heures	1 réparation par heure
Cas 1.3	1 défaillance par 24 heures	1 réparation par 48 heures
Cas 2.1	1 défaillance par 720 heures	1 réparation par heure
Cas 2.2	1 défaillance par 720 heures	1 réparation par 12 heures
Cas 2.3	1 défaillance par 720 heures	1 réparation par 48 heures
Cas 3.1	1 défaillance par 8 000 heures	1 réparation par heure
Cas 3.2	1 défaillance par 8 000 heures	1 réparation par 12 heures
Cas 3.3	1 défaillance par 8 000 heures	1 réparation par 48 heures

TABLE 3.3 – Les taux de défaillances et de réparation suggérés

Les taux de défaillances ont été choisis selon les critères suivants :

- Défaillances fréquentes représentent, par exemple, les bug des programmes informatiques des machines, les chutes de tension, etc... .
- Défaillances moyennes signifient les pannes qui surviennent généralement sur les pièces électroniques.
- Défaillances rares peuvent être représentés comme étant des pannes intervenant sur des grandes pièces de la machine généralement des pièces mécaniques qui ont une longue durée de vie (exemple : la station de soufflage , la roue de remplissage, les étoiles de transfère, etc...).

Les taux de réparation ont été choisis selon les défaillances des moyens de maintenance de l'entreprise.

Afin de pouvoir simuler notre système, on a besoin de calculer les taux de défaillances et de réparation par heures. Le calcul des taux par heure se fait de la manière suivante :

$$\lambda = \frac{\text{Nombres de } d\text{faillances}}{\text{Dure moyenne de } d\text{faillance}}$$

$$\mu = \frac{\text{Nombres de } r\text{paration}}{\text{Dure moyenne de } r\text{paration}}$$

Les taux calculés par les deux formules précédentes sont donnés dans cette table :

Cas	λ	μ
Cas 1.1	0.042	1
Cas 1.2	0.042	0.083
Cas 1.3	0.042	0.021
Cas 2.1	0.0014	1
Cas 2.2	0.0014	0.083
Cas 2.3	0.0014	0.021
Cas 3.1	0.000125	1
Cas 3.2	0.000125	0.083
Cas 3.3	0.000125	0.021

TABLE 3.4 – Calcul de λ et μ

3.5 Interprétation des résultats

Après l'implémentation du modèle dans le simulateur GRIF, nous avons pu simuler notre système selon les différents Cas, nous avons récupéré les résultats de simulation associés aux places du premier Cas qui seront donnés dans la figure 3.9.

Modélisation et évaluation de performances de la chaîne de production.

Name	Number	Sojourn Time	σ (Sojourn Time)	Average token number	σ (Average)	Token number at end of history	σ (end of history)
PI1 : 1	1	100000000	0	995194,8839	47,3753682	990376,7	47,05564082
PI2 : 2	2	99928185,59	66143,06701	825,8254698	68,09082327	1652,3	87,1958842
PI3 : 3	3	99086163,59	564587,6529	86,98904469	47,89709567	142,8	107,1611455
PI4 : 4	4	99774056,39	144291,8198	477,2205568	62,06625184	985	174,2679929
PI5 : 5	5	80785301,91	894748,6082	2,100563657	0,112294097	1,6	1,264911064
PI6 : 6	6	98894670,95	189100,2539	41,45677917	0,204279927	44	26,85351208
PI7 : 7	7	3116,117749	404,106662	3,11612E-05	4,04107E-06	0	0
PI8 : 8	8	97340039,14	177670,3628	19,82179579	0,362705019	40,2	1,032795559
PI10 : 10	10	95970791,67	3054,147036	0,959707917	3,05415E-05	0,9	0,316227766
PI11 : 11	11	4029208,328	3054,147036	0,040292083	3,05415E-05	0,1	0,316227766
PI12 : 12	12	95969547,93	2546,009183	0,959695479	2,54601E-05	0,9	0,316227766
PI13 : 13	13	4030452,073	2546,009183	0,040304521	2,54601E-05	0,1	0,316227766
PI14 : 14	14	95970040,24	3443,18371	0,959700402	3,44318E-05	0,9	0,316227766
PI15 : 15	15	4029959,757	3443,18371	0,040299598	3,44318E-05	0,1	0,316227766
PI16 : 16	16	95970108,49	2834,442983	0,959701085	2,83444E-05	1	0
PI17 : 17	17	4029891,506	2834,442983	0,040298915	2,83444E-05	0	0
PI18 : 18	18	95970004,95	2162,747326	0,95970005	2,16275E-05	0,8	0,421637021
PI19 : 19	19	4029995,049	2162,747326	0,04029995	2,16275E-05	0,2	0,421637021
PI20 : 20	20	95969562,97	1875,021629	0,95969563	1,87502E-05	1	0
PI21 : 21	21	4030437,029	1875,021629	0,04030437	1,87502E-05	0	0
PI22 : 22	22	95968592,75	4154,466056	0,959685927	4,15447E-05	0,9	0,316227766
PI23 : 23	23	4031407,251	4154,466056	0,040314073	4,15447E-05	0,1	0,316227766

FIGURE 3.9 – Résultats de simulation du premier Cas pour les places

Explication des résultats :

Les résultats du tableau précédent ont été obtenus au bout d'une heure de simulation, pour leur interprétation on a opté pour la division du tableau en trois catégories de places telles que :

- **Catégorie 1 :** Les places {PI1, PI2, PI3, PI4, PI5, PI6, PI7, PI8} qui représentent les stocks intermédiaires et les stocks d'entrée et de sortie, leur temps de séjours signifie le temps d'attente du produit qui est représenté par le nombre moyen de jetons.
- **Catégorie 2 :** Les place {PI10, PI12, PI14, PI16, PI18, PI20, PI22} qui représentent la disponibilité des machines. Le temps moyen de séjours représente le temps moyen de disponibilité de la machine sur 8 000 heures, le nombre moyenne de jetons représente le pourcentage de disponibilité de chaque machine, et le nombre de jetons à la fin de l'histoire pour ces places représente l'état de la machine à la fin de la simulation (1 signifie disponible, 0 signifie machine en panne).

Modélisation et évaluation de performances de la chaîne de production.

- **Catégorie 3** : Composé de places {P111, P113, P115, P117, P119, P121, P123}. Les résultats de cette catégorie sont interprétés comme suit :
 - Le temps de séjours : représente le temps d’indisponibilité de la machine qui est donné en heures ;
 - Le nombre moyenne de jetons : représente le pourcentage d’indisponibilité de la machine ;
 - Le nombre de jetons en fin d’histoire : représente l’état de la machine à la fin de la simulation (0 signifie disponible, 1 signifie machine en panne).

3.6 Calcul de la disponibilité et de la productivité de la chaîne de conditionnement

On a vu dans l’explication des résultats que le nombre de jetons présents dans la place P18 représente le nombre de palettes produites au bout d’une heure. La table suivante donne la productivité de la ligne pour chaque cas.

Cas	λ	μ	Production en palettes	Erreur de simulation
Cas 1.1	0.042	1	40	1
Cas 1.2	0.042	0.083	27	0.5
Cas 1.3	0.042	0.021	13	0.5
Cas 2.1	0.0014	1	42	0.8
Cas 2.2	0.0014	0.083	40	0.5
Cas 2.3	0.0014	0.021	39	0.6
Cas 3.1	0.000125	1	41	0.7
Cas 3.2	0.000125	0.083	41	0.5
Cas 3.3	0.000125	0.021	41	0.5

TABLE 3.5 – La productivité en fonction des paramètres λ et μ

A partir des données de la table précédente, on a obtenu la courbe suivant :

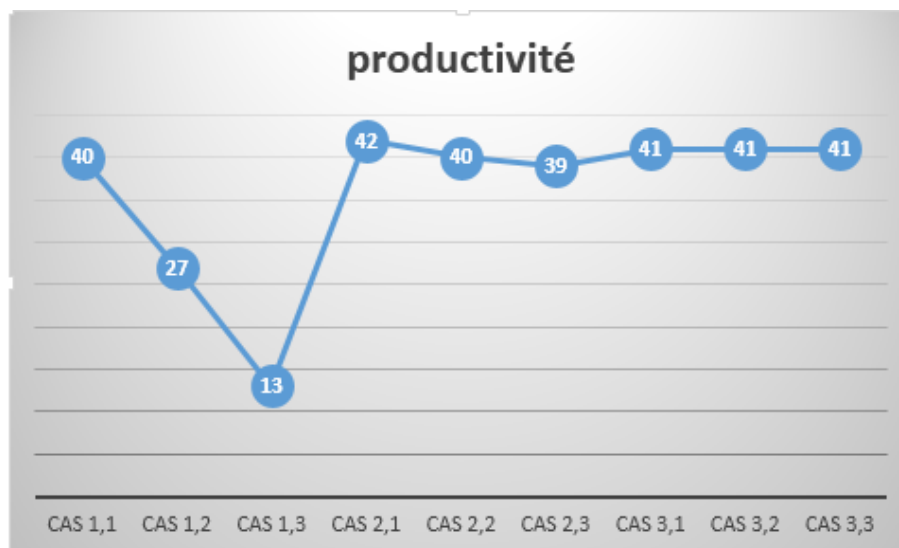


FIGURE 3.10 – Courbe de la productivité

On remarque que :

- Pour le cas 1.1, la productivité atteinte est de 40 palettes, avec un niveau de productivité de 55 % et un temps de disponibilité de 33 minutes.
- Pour le cas 1.2, la productivité atteinte est de 27 palettes, avec un niveau de productivité de 37 % et un temps de disponibilité de 22 minutes.
- Pour le cas 1.3, la productivité atteinte est de 13 palettes, avec un niveau de productivité de 18 % et un temps de disponibilité de 11 minutes.
- Pour le cas 2.1, la productivité atteinte est de 42 palettes, avec un niveau de productivité de 58 % et un temps de disponibilité de 35 minutes.
- Pour le cas 2.2, la productivité atteinte est de 40 palettes, avec un niveau de productivité de 55 % et un temps de disponibilité de 33 minutes.
- Pour le cas 2.3, la productivité atteinte est de 39 palettes, avec un niveau de productivité de 54 % et un temps de disponibilité de 32 minutes.
- Pour le cas 3.1, la productivité atteinte est de 41 palettes, avec un niveau de productivité de 57 % et un temps de disponibilité de 34 minutes.
- Pour le cas 3.2, la productivité atteinte est de 41 palettes, avec un niveau de productivité de 57 % et un temps de disponibilité de 34 minutes.
- Pour le cas 3.3, la productivité atteinte est de 41 palettes, avec un niveau de productivité de 57 % et un temps de disponibilité de 34 minutes.

Le niveau de productivité (NPr) est calculé comme suit :

$$NPr = \frac{\text{Productivité}}{\text{Productivité Nominale}}$$

Productivité nominale (Pn) pour 1 heure de production est 72 Palettes.

En une heure, la ligne peut produire en moyenne 72 palettes de 168 bouteilles.

La disponibilité (D) en temps de la ligne de production est calculées par la formule suivante :

$$D = NPr$$

Discussion des résultats

A partir de la courbe représentant l'évolution de la productivité de chaîne de conditionnement, on peut déduire que les deux paramètres n'ont pas le même niveau d'influence tel que :

la production diminue rapidement lorsque le temps d'apparition de panne est très petit tout en augmentant le temps de réparation, par contre, avec les mêmes temps de réparation et le temps d'apparition de panne plus grand la productivité est presque constante. De cela, on peut déduire que l'apparition de panne est plus influente sur la productivité ce qui nous donne plus d'informations qui aide l'entreprise à orienter sa politique de maintenance vers une maintenance préventive pour éviter une grande fréquence d'apparition de panne. Le seuil de productivité est atteint pour la majorité des temps, et cela, est due au niveau exigé qui n'est pas vraiment élevé, et pour pouvoir augmenter la production il faut diminuer le temps de réparation car il est le seul paramètre sur lequel on peut agir.

3.7 Conclusion

Après avoir modélisé le fonctionnement de la ligne de production d'huile en prenant en considération les défaillances aléatoires qui peuvent survenir sur le système. Nous avons simulé notre modèle avec le simulateur GRIF, et à partir des résultats obtenus nous avons pu calculer la productivité et la disponibilité de la ligne de production. A la fin de cette démarche, des temps de réparation maximum ont été suggérés pour atteindre le seuil de disponibilité exigé.

Conclusion Générale et Perspectives

Dans ce mémoire de fin de cycle, nous nous sommes intéressés à la modélisation de la ligne de production d'huile en vue d'évaluer ses performances.

Le but de notre étude est l'évaluation de performance de la ligne de conditionnement de huile en terme de productivité et de disponibilité afin de proposer des solutions, et cela, pour maintenir un certain niveau exigé.

l'évaluation de performance de la chaîne de conditionnement d'huile a été faite à l'aide des RDPS que nous avons vu l'outil de modélisation le plus approprié pour notre cas d'étude.

Après l'analyse de fonctionnement de la chaîne de conditionnement, nous avons pu dégager son modèle RDPS implémenté sous le logiciel GRIF pour pouvoir simuler le fonctionnement de la chaîne, et récupérer les résultats de production sous certaines conditions probables.

Les résultats de simulation nous ont permis d'étudier la disponibilité de la ligne, et de savoir quels sont les paramètres influants sur cette dernière.

Au terme de ses résultats nous avons pu proposer des plans d'action permettant de maintenir la disponibilité de la chaîne de conditionnement.

Pour terminer, nous proposons ci-dessous un ensemble de perspectives qui visent à améliorer d'avantage la qualité et le nombre de résultats de notre modèle.

- Modélisation de la chaîne de production par réseau de file d'attente.
- Faire une comparaison entre les deux modélisation (réseau de pétri et file d'attente)

Résumé

Pour évaluer les performances d'une ligne de production de l'entreprise CEVITAL, dont les machines peuvent être sujettes à des pannes aléatoires, en utilisant des approches mathématiques, nous spécifions les réseaux de Petri pour modéliser un système de production. Dans ce travail, notre objectif principal est de développer un modèle de réseaux de Petri stochastique (RDPS) de la ligne de conditionnement d'huile afin d'évaluer ses performances en terme de disponibilité et de productivité face à des défaillances possibles du système. L'utilisation des RDPS présente a la fois l'avantage de la modélisation graphique et des résultats mathématiques. Les résultats obtenus par simulation nous ont permis une meilleure compréhension de l'évolution de la productivité en fonction des paramètres de pannes et de réparation.

Mots clés : Evaluation de performances, Systeme de production, Modélisation, Simulation, Les RDPS.

Abstract

To evaluate the performance of a company's production line CEVITAL, the machines can be subject to random failures, using mathematical approaches, we specify Petri nets to model a production system. In this work, our main objective is to develop a stochastic Petri net model (RDPS) of the oil packaging line to assess its performance in terms of availability and productivity in the face of possible system failures. The use of this RDPS has both the advantage of graphical modeling and mathematical results. The simulation results have allowed us a better understanding of the evolution of productivity based on the parameter of breakdowns and repairs.

Key words : Performance Evaluation, Production System, Modelling, Simulation, The GSPN.

Bibliographie