

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE

Département : ELECTRONIQUE

Domaine : SCIENCES ET TECHNIQUES

Filière : ELECTRONIQUE

Spécialité : ELECTRONIQUE DES SYSTEME EMBARQUE

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

### MODELISATION D'UN SYSTEME DE PRODUCTION PAR RESEAU DE PETRI

Présenté par : *ACHOURI Mohamed*  
*DJEGHABA Islam*

Encadrant : *KHALDOUNA Zahia* M.C.B *UBM Annaba*

### Jury de Soutenance :

FEZARI Mohammed	Prof	UBM Annaba	Président
KHALDOUNA Zahia	M.C.B	UBM Annaba	Encadrant
GHERBI Sofiane	Prof	UBM Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2021/2022

# *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail qui est le fruit de plusieurs Années d'études à :

Mon cher Papa, mon exemple éternel, ma source de joie et de bonheur, **Abd Elouahed Achouri**. Je tiens à honorer l'homme que tu es. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, Ma chère Maman **Halima Djenouhat**, tu représentes pour moi le symbole de la bonté. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance jusqu'à maintenant. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

À mes chers frères **Nadir** et **Akram** , à qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite.

À ma chers grand mère **Nafissa Djenouhat** que j'aime énormément, que dieu leur rocure bonne santé et longue vie.

À ma grand-mère **Khamissa Amroussi** et mon grand père **Med El taib Djenouhat** qui m'adoraient et qui souhaitaient toujours ma réussite, paix a son âmes, que dieu les accueille dans son vaste paradis.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures. A toute ma famille, et mes amis, j'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

Sans oublier mes amis qui m'ont aidé durent ce travail

**Mohamed Achouri**

# *Dédicace*

Particulièrement à mes très chers parents **Cherif Djeghaba** et **Souad Dakiche** qui ont consacré leur existence à bâtir la mienne pour leur soutien, patience et tendresse et pour tout ce qu'ils ont fait pour que je puisse arriver à ce stade.

À mes grand parents **Tounes Dakiche** et **Djeghaba Yahia**, qui grâce à leur prières c'est établie ce travail.

À mes chères sœur **Djeghaba Meriem** qui m'avait toujours soutenu durant toutes mes années d'études.

À mon amis Chouabbi Med Nacer eddine

À tout les amis qui nous ont aidés durent ce travail soit de près ou de loin d'une façon directe ou indirecte

**Islam Djeghaba**

# *Remerciement*

Nous implorons devant ALLAH le tout puissant qui nous a aidés à effectuer ce présent travail.

Nous remercions nos très chers parents pour leurs soutiens et leurs patiences et conseils

Nous exprimons nos profonds remerciements à **Mme Zahia Khaldouna** pour la qualité de son encadrement exceptionnel, leur orientation, pour sa patience, sa rigueur, sa disponibilité, ses conseils précieux qui nous ont permis, de surmonter les difficultés et de progresser dans ce travail.

Nous remercions les membres du jury **Mr. Mohammed Fezari** et **Mr. Sofiane Gherbi** qui donnera à notre travail une valeur ajoutée à travers leurs recommandations et leurs remarques si importantes, dont nous serions très reconnaissant.

Sans oublier de remercier tous les personnes qui nous ont aidés d'achever ce modeste travail soit de près ou de loin d'une façon directe ou indirecte.

## **Résumé :**

Le système de production (SP) est un système de production bien intégré. Dont la relation entre ses composants est très complexe. Étant donné que les méthodologies de programmation mathématique sont difficiles à résoudre pour les systèmes très complexes, les simulations des SP sont fréquemment utilisées pour évaluer les mesures de performance. De plus, les composants du SP sont complexes et coûteux. Si le SP doit être mis en œuvre, il est préférable de simuler les résultats pour éviter de perdre de l'argent, des ressources ou du temps de travail, il a été étudié en termes de modélisation et d'analyse des performances, car il s'agit d'un système à événements discrets. L'application des réseaux de Petri T-temporisé pour l'analyse des mesures de performance sera discutée dans ce mémoire. le système a été modélisé mathématiquement dans le logiciel MATLAB, et précisément GPenSIM (qui définit un langage de réseau de Petri pour la modélisation et la simulation des systèmes à événements discrets) sur la plate-forme MATLAB, et graphiquement sur logiciel GRIF. la technique mathématique bien définie, c'est-à-dire la technique d'implémenter le temps dans les transition, est également appliquée à des fins de vérification des résultats de simulation. Un exemple de SP a été pris en considération son modèle de réseau Petri T-temporisé, son modèle GRIF et son modèle mathématique ont été construits sur MATLAB. Plusieurs mesures ont été utilisées pour évaluer les performances du système. Les techniques de simulation sont faciles à analyser notre système de production.

**Mots clés :** système de production, réseaux de Petri, réseaux de Petri t-temporisé, modélisation

## **Abstract :**

The production system (SP) a well-integrated production system. The relationship between its components is very complex. Since mathematical programming methodologies are difficult to solve for very complex systems, SP simulations are frequently used to evaluate performance metrics. Moreover, the components of the SP are complex and reserved. If SP is implemented, it is best to simulate the results to avoid wasting money, resources, or work time. SP has been considered in terms of modeling analysis because it is a discrete event system. The application of T-timed Petri nets for the monitoring and analysis of SP performance measures is discussed in this thesis. The system was modeled mathematically in the MATLAB software, and precisely GPenSIM (which defines a Petri net language for the modeling and simulation of discrete event systems on the MATLAB platform), and graphically on the GRIF software. the well-defined mathematical technique, the technique of implementing time in the transitions, was also applied for the purpose of verifying the simulation results. An example of SP was considered and its T-timed Petri net model, GRIF for graphically model and mathematical model were integrated on MATLAB. Several performance metrics were used to assess system performance. And it was found that the simulation techniques are easy to analyze the production system.

**Keywords:** Production sytem, Petri net, T-timed Petri net, Modeling.

## ملخص :

نظام الإنتاج نظام إنتاج متكامل بشكل جيد. العلاقة بين مكوناته معقدة للغاية. نظرًا لصعوبة حل منهجيات البرمجة الرياضية للأنظمة المعقدة جدًا، تُستخدم عمليات محاكاة الإنتاج كثيرًا لتقييم مقاييس الأداء. وعلاوة على ذلك، فإن مكونات نظام الإنتاج معقدة ومحفوظة. إذا تم تنفيذ نظام الإنتاج، فمن الأفضل محاكاة النتائج لتجنب إهدار المال أو الموارد أو وقت العمل. تم النظر في نظام الإنتاج من حيث تحليل النمذجة لأنه نظام منفصل وتناقش هذه الأطروحة تطبيق شبكات جيبانسيم (الذي يحدد لغة بتري ذات التوقيت التائي لرصد و تحليل مقاييس أداء المنتجات الخاصة. وعلى وجه التحديد شبكة بيتري لنمذجة ومحاكاة أنظمة الأحداث المنفصلة على المنصة ماتلاب)، الرسم البياني على المحاكى قريف. كما طبقت التقنية الرياضية المحددة جيدًا على المحاكى ماتلاب، وهي تقنية تنفيذ الوقت في التحولات، لغرض التحقق من نتائج في توقيت شبكة بيتري. تم استخدام العديد من مقاييس الأداء المحاكاة. تم النظر في مثال لنظام الإنتاج وتم دمج نموذج لتقييم أداء النظام. ووجد أن تقنيات المحاكاة سهلة التحليل لنظام الإنتاج كلمات مفتاحية: نظام الإنتاج، شبكة بيتري، نمذجة

# Table des Matières :

---

<b>INTRODUCTION GENERALE :</b>	<b>1</b>
<b>CHAPTRE I :MODELISATION DES SYSTEME DE PRODUCTION</b>	
<b>1 INTRODUCTION :</b>	<b>2</b>
<b>2 LES SYSTEME DE PRODUCTION :</b>	<b>2</b>
<b>3 LES CARACTERISTIQUES DES SYSTEMES DE PRODUCTION ..</b>	<b>3</b>
3.1 Flexibilité :	3
3.2 Réactivité.....	4
3.3 Proactivité :	5
3.4 Robustesse :	5
<b>4 FAMILLES DE MODELES ..</b>	<b>6</b>
4.1 Modèles discrets :	6
4.2 Modèles continus :	6
4.3 Modèles synchrones :	7
4.4 Modèles asynchrones :	7
<b>5 TYPES DE SYSTEMES DE PRODUCTION ET PROBLEMES ASSOCIES :</b>	<b>9</b>
<b>6 LES MODELES DE MODELISATION EXISTANTES D'UN SYSTEME DE PRODUCTION ..</b>	<b>8</b>
6.1 Approche hiérarchique :	8
6.2 Approche orientée objet :	8
6.3 Approche systémique :	8
<b>7 MODELISATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION.....</b>	<b>9</b>
<b>8 LES DEFFIRENTS METHODE DE MODELISATION D'UN SYSTEME PRODUCTION :</b>	<b>9</b>

8.1	La méthode GRAI :	09
8.2	La méthode SADT :	9
8.3	La méthode MERISE :	10
8.4	La méthode Grafcet :	10
8.5	Les réseaux de Petri :	10
<b>CONCLUSION.....</b>		
.....12		

**CHAPTRE II :LES RESEAU DE PETRI**

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION :</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>LES RESEAUX DE PETRI :</b>	<b>13</b>
2.1	Définition 1:.....	13
2.2	Définition : .....	14
<b>3</b>	<b>RESEAUX DE PETRI AUTONOMES :</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>RESEAUX DE PETRI NON AUTONOMES :</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>RESEAUX DE PETRI SYNCHORONISE :</b>	<b>15</b>
5.1	Définition :.....	15
5.1.1	Principe :.....	15
<b>6</b>	<b>RESEAU DE PETRI TEMPORISE :</b>	<b>16</b>
6.1	Le réseaux de Petri P-temporisé :	16
6.2	Le réseaux de Petri T-temporisé :	17
<b>7</b>	<b>RESEAU DE PETRI INTERPRETE:.....</b>	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>RESEAU DE PETRI STOCHASTIQUE :</b>	<b>19</b>
<b>9</b>	<b>RESEAU DE PETRI GENERALISE :</b>	<b>20</b>
<b>10</b>	<b>RESEAU DE PETRI A CAPACITE :</b>	<b>20</b>
<b>11</b>	<b>RESEAUX DE PETRI A ARC INHIBITEUR :</b>	<b>20</b>

<b>12 RESEAU DE PETRI COLORE :</b>	<b>21</b>
<b>13 RESEAUX DE PETRI CONTINUS :</b>	<b>23</b>
13.1 Le RdP continu à vitesse constante :	23
14.2. Le RdP continu à Vitesses Variables :	24
13.2 Le RdP continu Asymptotique :	24
13.3 Le RdP continu à Vitesses Fonction du Temps :	25
<b>14 RESEAUX DE PETRI HYBRIDE :</b>	<b>25</b>
<b>CONCLUSION :</b>	<b>26</b>

### *ChapreIII :Réalisation et simulation*

<b>1 INTRODUCTION :</b>	<b>27</b>
<b>2 PRESENTATION DE SYSTEME DE PRODUCTION :</b>	<b>27</b>
2.1 Présentation de l'atelier de confection	27
2.2 Identification des paramètres de qualité des profilés :	28
2.3 Position du problème	28
<b>3 MODELISATION DE NOTRE SYSTEME DE PRODUCTION :.....</b>	<b>29</b>
<b>4 MODELISATION PAR RESEAU DE PETRI :</b>	<b>30</b>
4.1 Algorithme de simulation :	33
4.2 Association des transitions a des événement :	34
<b>5 SIMULATION SUR MATLAB ET GRIF :</b>	<b>35</b>
5.1 Description de la plateforme Matlab :	35
5.2 Gpensim :	35
5.3 Description de la platform GRIF :	35
5.3.1 GRIF est structuré en 3 packages	36
<b>6 SIMULATION ET RESULTATS :</b>	<b>36</b>
6.1 Simulation sur Matlab :	36
6.1.1 Déroulement de la simulation	36
6.1.1.1 Exuction de programme :	36

<b>6.2 Simulation avec la plateforme GRIF : .....</b>	<b>40</b>
<b>CONCLUSION :.....</b>	<b>40</b>
<b>CONCLUSION GENERAL :.....</b>	<b>41</b>
<b>Références Bibliographiques:.....</b>	<b>42</b>

## Liste des figures

---

Figure 1: Principe de tir d'une transition synchronisée. ....	15
Figure 2: Exemple de RdP P-temporisé .....	17
Figure 3: Transformation d'un RdP T-temporisé en RdP P-temporisé .....	18
Figure 4::Notation pour un RdP stochastique. (a) Spécifié, (b) Habituel .....	20
Figure 5:Exmeples RdP généralisé .....	22
Figure 6: Réseau de petri a arc inhibiteur .....	23
Figure 8: RDP continu simple .....	25
Figure 7: Exemple de réseau coloré .....	25
Figure 9: :-a-Système hydraulique.-b- RdPCC modèle des systèmes en figures a .....	26
Figure 10: schéma du Système à modéliser .....	27
Figure 11: schéma d'atelier à modéliser .....	27
Figure 12: Le RdP de système de production étudié .....	30
Figure 13: placement des jeton dépend le temps cas pas de panne et réparation .....	22
Figure 14 :- placement des jeton dépend le temps cas de panne et réparation ..	39
Figure 15 : le chemin des opération (avec et son panne et réparation).....	39
Figure 16 RdP modélisé sur GRIF: .....	40

## Liste des tableaux

---

Tableau 1 : le temps d'opération sur les 3 machine sans panne et réparation .....	32
Tableau 2 : le temps d'opération sur les 3 machine avec panne et réparation .....	32
Tableau 3 : le temps globales des opérations sur les 2 cas.....	32

## ***Introduction générale :***

---

La conception et le développement des systèmes de production nécessitent des ressources humaines et matérielles importantes. Ces dépenses peuvent être réduites grâce à l'incorporation de la simulation dans le domaine industriel.

Il est essentiel d'avoir une représentation acceptable du système de production lui-même, pour comprendre un SP qu'il est trop difficile et compliqué à modifier. Cela implique la création d'un modèle fiable qui est aussi proche de la réalité que possible. Les réseaux de Petri sont un outil couramment utilisé dans la modélisation, la spécification et l'évaluation du comportement dynamique des processus industriels. Ils donnent une bonne approche avec des résultats satisfaisants. Certains travaux sur les systèmes de production utilisant RDP peuvent être trouvés parmi les résultats.

### **Chapitre I :**

Dans ce chapitre, nous avons introduit la notion de systèmes de production, et la catégorisation des systèmes de production à la structure, ensuite, nous avons parler de la modélisation des système de production. Enfin, les outils de modélisation des Systèmes de production ainsi les réseaux de Petri qui nous avons choisi pour modélisé notre système de production.

### **Chapitre II :**

Ce chapitre est consacré a la présentation des réseaux de Petri . Il existe une variété de modèles qui peuvent être utilisés pour modéliser des systèmes de production. Et enfin on choisi le réseau de Petri T-temprisé pour modéliser notre système de production en raison de sa capacité à la modélisation et de sa capacité à fournir une simulation événementielle.

### **Chapitre III :**

Dans ce chapitre, nous sommes concentrés sur l'utilisation de réseaux de Petri T-temporisé pour modéliser et simuler notre système de production, et dans cette section, nous avons choisi le MATLAB et précisément GPenSim pour la simulation mathématique afin de compter tous les opérations de notre système de production. Une simulation sur GRIF permet la simulation de notre système de production. Enfin, une conclusion générale est tirée.

---

# *Chapitre I :*

## *Modélisation des Systèmes de Production*

---

# *Chapitre I : Modélisation des Systèmes de Production*

---

## **1 Introduction :**

La connaissance des systèmes de production est essentielle car elle facilite la communication avec toute personne travaillant sur le système, qu'il s'agisse d'opérateurs sur la chaîne de production ou d'experts du système. Ces derniers sont des interlocuteurs privilégiés dans les phases d'analyse, de spécification, de validation et de conception des outils d'optimisation car ils comprennent les besoins de l'entreprise et ont l'expérience des systèmes ou systèmes existants. mise en œuvre, et donc l'environnement dans lequel le système évoluera. C'est pourquoi la connaissance du système de production permet d'établir un cadre lors du processus de communication et d'éviter tout problème de communication.

La modélisation vise à comprendre la complexité des systèmes de production. Il leur permet d'être représentés selon plusieurs critères pour répondre aux attentes du plus grand nombre de spécialistes impliqués dans des projets industriels. L'objectif est d'extraire les informations jugées pertinentes lors de la phase d'analyse et de les structurer pour identifier les règles de fonctionnement du système de production. La principale difficulté à ce stade est de bien définir le périmètre du modèle. En effet, un modèle peu détaillé peut conduire à l'échec d'un projet industriel car il peut manquer des informations importantes et les solutions liées au problème de modélisation peuvent être inapplicables. A l'inverse, les modèles prenant en compte des contraintes, qui présentent un intérêt limité dans le cadre de la résolution du problème proposé, peuvent les rendre trop complexes pour être résolus efficacement.

## **2 Les système de production :[1]**

La production est une opération de transformation qui convertit des matières premières et/ou des composants que l'on peut qualifier de "bruts" (au sens le plus général) en produits finis plus élaborés et de valeur économique plus élevée. Un système de production est un ensemble de ressources qui permettent cette transformation. Dans cet ensemble, on distingue essentiellement quatre types de ressources: des équipements (machines, outils, moyens de transport, moyens informatiques, ... ), des moyens humains qui permettent le bon déroulement du processus de transformation, des produits à différentes étapes de fabrication (matières premières, produits semi-finis, produits finis, ... ), des entrepôts de matières ou des aires de stockage. En ce qui concerne les équipements de production, on distingue trois sous-types: les machines de production, permettant d'effectuer des opérations de transformation, les machines de manutention, permettant de transporter des pièces dans l'atelier (robots, chariots mobiles, tapis roulant, transtockeurs, ... ), et les machines de contrôle de qualité. Les deux dernières peuvent être considérées comme des machines de production spéciales ou fictives. Un produit fini est généralement obtenu par assemblage de plusieurs composants. Un composant est à son tour obtenu par assemblage d'autres pièces ou par une succession de transformations de matières premières. Les matières premières, les composants (produits semifinis) ainsi que les produits finis sont des articles, qui se distinguent les uns des autres par leur état de transformation. Un article qui subit une opération de transformation devient un article à l'état différent. Un article (en cours de transformation) est souvent appelé une "pièce" dans la production. La description complète du processus de fabrication d'un produit fini est donnée par une arborescence des composants, connue sous le nom de nomenclature, et la description du processus de chaque composant est donnée par sa gamme de fabrication. Une gamme de

# *Chapitre I : Modélisation des Systèmes de Production*

---

fabrication est l'ensemble des opérations qui conduisent à l'achèvement d'un composant ou d'un produit dans le cadre du système de production.[1]

## **3 Les caractéristiques des systèmes de production :[2]**

Le contexte économique dans lequel les entreprises évoluent aujourd'hui ne permet plus de produire efficacement à partir des systèmes de production basés sur les principes du Taylorisme, qui ont fait largement leurs preuves. Il nécessite des systèmes de production basés sur d'autres principes, ayant des nouvelles caractéristiques, telles que la flexibilité, la réactivité, la proactivité et la robustesse.

### **3.1 Flexibilité :**

L'évolution croissante des besoins d'une entreprise fait que la conception du système de production est de plus en plus orientée vers des familles de produits et non vers un seul type de produit. Les systèmes correspondants à une telle exigence doivent se révéler flexibles.

La flexibilité d'un système de production se caractérise par sa capacité d'adaptation à la production des nouveaux produits pour lesquels le système n'a pas été étudié. Cela suppose une adaptation totale du système de production au produit courant (de la distribution des flux discrets de composants aux opérations qu'effectuent les moyens de production sur le produit).

Plusieurs types de flexibilité ont été mis en évidence suivant leurs incidences sur l'objectif qui est le produit fini et sur les moyens de production permettant la réalisation de ce produit.

- **flexibilité de produits** : offre la possibilité d'une reconfiguration du système pour la prise en compte d'un nouveau produit ou famille de produits permettant ainsi un gain de productivité ;
- **flexibilité de mélange** : c'est la possibilité de produire simultanément un ensemble de produits ayant des caractéristiques de base communes ; cette flexibilité peut être mesurée par le nombre de produits différents qui peuvent être fabriqués simultanément ;
- **flexibilité de quantité** : il s'agit de la capacité du système à faire face aux fluctuations de la quantité des produits à fabriquer en modifiant les rythmes, ainsi que les temps de passage et d'engagement des outils ;
- **flexibilité de routage** : offre au système les moyens d'un aiguillage plus souple, de façon à servir les différents segments de procédés libres ou sous - engagés ;
- **flexibilité d'ordre des opérations** : permet de changer l'ordre des opérations en cours de production (ce qui suppose l'existence d'une gamme principale et des gammes secondaires) ou de choisir la destination suivante après chaque opération ;

# Chapitre I : Modélisation des Systèmes de Production

---

- **flexibilité d'expansion** : autorise une extension et une modification de l'architecture du système et elle exige une modélisation ;
- **flexibilité des ressources** : c'est la capacité des ressources à effectuer plusieurs tâches élémentaires et de permettre la reprogrammation. En considérant les définitions données ci-dessus on peut déduire que la flexibilité est un facteur déterminant dans l'élaboration de la conception d'un système de production apte à fabriquer plusieurs variantes de produits. Malheureusement, une forte accentuation sur cette flexibilité engendre des investissements très élevés des ressources technologiques relevant de ce système, à cause de leur surdimensionnement à l'installation, et entraîne une baisse de productivité. Au cours de l'automatisation d'un système flexible de production il faut donc faire un compromis entre flexibilité et productivité.

## 3.2

### Réactivité

Une exigence importante du client est de recevoir sa livraison dans les délais impartis et ce quel que soit le carnet de commande (variable). Satisfaire une telle exigence impose au système de production d'être réactif, c'est-à-dire capable de répondre rapidement et économiquement à un changement (fabrication multi-produit, introduction d'une commande urgente, modification d'une norme etc.) ou à un aléa. Ces aléas peuvent provenir soit du système de production (défauts d'alimentation, défauts de réalisations d'une tâche, pannes des machines, rebuts) soit de son environnement (approvisionnements des matières premières).

La réactivité d'un système de production est définie comme l'aptitude à répondre (réagir) dans un temps requis aux changements de son environnement interne ou externe (aléa, situation nouvelle, perturbation, sollicitation, ...) par rapport au régime (fonctionnement) permanent (stable).

La réactivité se pose en terme de mesure de la qualité d'une certaine performance du système de production. Celle-ci implique une maîtrise du système observé, une maîtrise du type de performance à évaluer et de la pertinence sémantique et logique des données et des traitements mis en œuvre. Il est donc plus que nécessaire de disposer d'une excellente connaissance sur la composition interne du système, sa frontière, son environnement, ses interactions intra et extra système, ses aspects technologiques, humaines, opérationnels, organisationnels, décisionnels et économiques selon un horizon temporel d'évolution. On peut donc considérer des indicateurs de réactivité : un indicateur d'a priori en vue de l'évaluation d'une réactivité potentielle, un indicateur temps réel pour l'évaluation d'une activité courante et un indicateur d'a posteriori en vue d'une archive historique des réactivités considérées dans le passé. Selon leur niveau de considération, ses indicateurs sont de type spécifiques ou généraux, sélectifs ou universels (réactivité induite par les perturbations), absolus ou relatifs (réactivité différentielle), instantanés ou cumulés, locaux ou globaux.

La réactivité d'un système de production impose une vision dynamique des événements qui se passent dans le système. Afin d'assurer cette propriété de réactivité du système de production, trois fonctions annexes s'avèrent nécessaires :

- **une fonction d'observation** qui collecte les variables nécessaires au suivi, afin de connaître

# *Chapitre I : Modélisation des Systèmes de Production*

---

l'état courant du système (disponibilité et état des produits, disponibilité et état des moyens de production) ;

- **une fonction de surveillance** qui détecte (suite au résultat d'une observation) et interprète les écarts et les changements entre le plan prévisionnel et le plan courant par anticipation ;
- **une fonction de correction** qui tente à tout instant de corriger les écarts entre ces plans, ce qui implique un ordonnancement dynamique.

### **3.3 Proactivité :**

Aujourd'hui, l'évolution rapide de l'environnement, la complexité croissante des processus de production conduisent à considérer comme nécessaire une adaptation permanente, dans un monde où l'aléa constitue la règle et non l'exception. La réactivité est donc nécessaire, mais elle n'est pas suffisante et les systèmes de production doivent présenter une nouvelle propriété : la proactivité.

La proactivité d'un système de production se caractérise par ses capacités d'anticipation (prévoir et/ou provoquer) les changements d'état, d'apprentissage et d'enrichissement des connaissances (pour améliorer sa réactivité), d'adaptation ses règles de fonctionnement et par sa capacité de réorganisation reposant sur une architecture décentralisée et une délégation de responsabilité.

Un système de production proactif est avant tout un système réactif. La proaction sous-entend l'existence de la réaction. La réaction consiste dans l'application de règles fixées, en réponse aux événements, tandis que la proaction, en considérant la définition donnée ci-dessus, ajuste en quelque sorte son environnement et modifie les règles de fonctionnement afin de gérer et maîtriser les aléas néfastes à la performance industrielle.

A côté des fonctions d'observation, de surveillance et de correction, nécessaires pour assurer la réactivité d'un système, la proactivité implique une quatrième fonction d'enrichissement des connaissances, qui permet d'améliorer les processus d'interprétation et de décision.

### **3.4 Robustesse :**

Une autre exigence du client est d'acquiescer sa commande avec la garantie d'une certaine qualité. Cela oblige le concepteur du système de production à imposer au système de production une certaine robustesse.

La robustesse d'un système de production se définit par son aptitude à produire conformément aux résultats attendus. Cela suppose la garantie de l'obtention des performances souhaitées en présence d'incertitudes dans le système.

L'acquisition de ces quatre propriétés est liée à une réorganisation notable du système de production existant, notamment au niveau de la conduite du système par la prise en compte des nouvelles approches.

# Chapitre I : Modélisation des Systèmes de Production

---

## 4 Familles de modèles [3]

### 4.1 Modèles discrets :

#### Définition :

Un système de production peut être analysé par un modèle dit, discret si : les événements ayant lieu dans ce système peuvent survenir à n'importe quel instant sur l'axe des temps à condition que l'intervalle  $T$ , entre deux changements d'états d'une entité (par exemple, le temps entre le début et la fin d'une réparation) est une grandeur discrète  $T_j = j \times \Delta$  où  $\Delta$  est l'unité de temps. Souvent, cette dernière est supposée égale à 1 sans pour autant apporter aucune restriction à l'analyse

Un événement, selon cette définition, réfère à l'instant d'une défaillance, le début d'une réparation, la fin d'une réparation, l'entrée d'une pièce d'en cours ou sa sortie d'une machine ou d'un stock tampon. L'échelle de temps dans ce cas est non nécessairement discrète.

Lorsque le produit est composé de parties discrètes, il peut être quantifié de manière discrète, par un nombre entier. En règle générale, les systèmes de fabrication, comme dans l'industrie automobile ou aéronautique, traitent de tels genre de produits. Les chaînes de montage, par exemple, sont des systèmes typiques où divers les pièces de certains appareils sont assemblées. En revanche, si le produit est un fluide tel qu'il est principalement le cas dans les systèmes de processus, comme l'industrie chimique ou alimentaire, la caractérisation devient plus difficile. Habituellement, deux catégories de tels processus sont distingués : les procédés continus et ceux par lots.

### 4.2 Modèles continus :

#### Définition :

Soit une ligne de production constituée de plusieurs machines en tandem avec des stocks tampons. Si les cadences des machines sont différentes les unes des autres, le flux des pièces des en-cours transitera par des zones où le débit sera plus élevé que dans d'autres. Cette situation nous renvoie au cas d'une pipe-line, le long de laquelle des réservoirs de stockage sont mises en place. Entre chaque couple de réservoirs une vanne est installée. Les vannes ont des angles d'ouverture différents. Si l'on suppose que, pour diverses raisons, les vannes se referment et s'ouvrent aléatoirement, ou bien que l'angle d'ouverture des vannes varie aléatoirement ; alors le flux d'un fluide à travers cette pipe-line subira des irrégularités tout au long de son parcours. La fermeture d'une vanne correspond à la défaillance d'une machine dans un système de production, alors que les angles d'ouverture variables, désignent les cadences de production des machines. Cette analogie est assez forte pour faire inspirer aux chercheurs une nouvelle approche de modélisation des lignes production tout en s'appuyant sur l'assimilation du flux des en cours au flux d'un fluide.

La valeur ajoutée des modèles continus réside dans la-flexibilité qu'ils offrent lors de l'analyse des transitions du système d'un état de la chaîne de Markov vers un autre en utilisant des équations différentielles à dérivées partielles. Les variables continues sont : le temps et le niveau du stock tampon qui varie continuellement de 0 jusqu'à la quantité maximale de pièces admissibles par le stock. Une application de cette approche est présentée dans le cinquième chapitre de la présente thèse.

# *Chapitre I : Modélisation des Systèmes de Production*

---

Dans un processus continu, le matériau s'écoule en continu le long de l'usine sans interruption temps. Chaque équipement est dédié au même et unique fonctionner pendant le cycle de vie du processus. Les matières premières sont alimentées et les produits sont livrés à des débits connus, la centrale est généralement exploitée en régime permanent ce qui signifie que toutes les variables décrivant les unités sont contrôlées pour être conservées à une valeur constante pendant la production. Il n'y a pas de représentation discrète de la dynamique du produit dans un processus continu. Production de grande capacité usines telles que les raffineries de pétrole, les produits chimiques lourds ou le traitement du gaz naturel unités, appartiennent à ce type de processus.

## **4.3 Modèles synchrones :**

### **Définition :**

un modèle synchrone est un modèle discret. Inversement un modèle discret n'est pas nécessairement synchrone. Souvent, on confond discret et synchrone, alors qu'une nuance fondamentale sépare ces deux modèles : le modèle synchrone suppose que tous les événements ayant lieu dans un système de production surviennent à des instants discret  $T_j = j \times \Delta$ . En d'autres termes, il s'agit de repérer tous les événements ayant lieu dans le système de production sur une échelle de temps discrète

## **4.4 Modèles asynchrones :**

**Définition :** un modèle asynchrone est caractérisé par des machines ayant des temps de traitement constants. Si ces temps sont identiques pour toutes les machines, on parlera alors de systèmes 'homogènes'. Les temps entre les défaillances ainsi que les durées des réparations suivent des lois exponentielles.

D'autres modèles existent dans la littérature et qui sont des dérivations des modèles cités dans la présente section. On cite en particulier, le modèle déterministe et le modèle exponentiel.

## **5 Types de systèmes de production et problèmes associés :**

La classification des systèmes de production peut se faire à l'aide de deux critères clés. Le premier est la nature "intrinsèque" du matériau transformé. La deuxième l'une est la dynamique des trajectoires des produits à travers l'usine.

## **6 LES MODELES DE MODELISATION EXISTANTES D'UN SYSTEME DE PRODUCTION :[4]**

### **6.1 Approche hiérarchique :**

Un système de production peut être décomposé en trois parties:

**a.la partie physique:** ensemble des ressources humaines et matérielles,

# Chapitre I : Modélisation des Systèmes de Production

---

**b. la partie information:** ensemble des flux d'information circulant dans un système de production,

**c. la partie décision:** ensemble des règles, des procédés de fabrication et des mécanismes de prise des décisions.

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

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

- **le niveau milieu** définit les décisions tactiques à moyen terme,

- **le niveau inférieur** définit les décisions opérationnelles à court terme.

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

## 6.2 Approche orientée objet :

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

## 6.3 Approche systémique :

L'approche systémique, issue des théories cybernétiques, considère que l'organisation constitue un système lui-même constitué d'un ensemble de sous-systèmes :

- en interaction dynamique ;

- organisés en fonction d'une finalité ;

- présentant des propriétés d'autonomie, de cohérence, de permanence

Elle permet donc d'analyser la complexité d'une organisation grâce à sa décomposition en un ensemble d'éléments plus réduits et donc plus accessibles pour une analyse.

Le paradigme systémique est basé sur trois hypothèses fondamentales suivantes :

- **hypothèse théologique** où l'objet à modéliser est supposé doter d'au moins un projet identifiable (exemple: le projet d'un système de production est de répondre à une demande en optimisant le coût de production),
- **hypothèse d'ouverture sur l'environnement** où l'objet à modéliser doit être présenté dans son environnement même s'il n'est pas descriptible de façon exhaustive (étude des besoins des clients, l'évolution du marché, la concurrence, les fournisseurs...),
- **hypothèse structuraliste** où l'objet à modéliser doit être décrit dans sa totalité, fonctionnant et évoluant (étude de tous les services d'un système de production, suivie de la fabrication..).

L'entreprise est un objet complexe, actif et organisé. La modélisation systémique propose une approche progressive permettant, d'une part, de comprendre l'interaction de l'entreprise avec son environnement et, d'autre part, de mettre en évidence les différents sous-systèmes de l'entreprise. L'approche systémique définit trois sous-systèmes de l'entreprise:

# ***Chapitre I : Modélisation des Systèmes de Production***

---

- **Système Opérant (SO)**: il permet de transformer les flux de matières (machines opérateurs, outils...).
- **Système de Pilotage (SP)**: Il assure le pilotage, la régulation de l'entreprise en fonction des objectifs. De plus, il permet l'adaptation de l'entreprise à son environnement (direction, planification, ordonnancement, gestion des stocks..')
- **Système d'Information (SI)**: il permet la mémorisation des comportements de l'entreprise. On distingue:
  - **Système d'Information Organisationnel (SIO)** qui exprime l'activité d'organisation associée au fonctionnement des systèmes d'information et définit les flux d'informations.
  - **Système d'Information Informatisé (SII)** qui concerne le contenu informatisé (logiciel, fichiers, bases de données..')

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

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

## **7 Modélisation des systèmes de production**

L'objectif de la modélisation SP est de représenter graphiquement les relations entre les différents composants du système.

Les outils de modélisation, aussi appelés outils d'enquête et d'aide à la décision, sont abondants dans la littérature.

## **8 Les différents méthodes de modélisation d'un système de production :**

L'émergence de divers outils de modélisation a suscité l'intérêt d'utiliser la modélisation pour résoudre les difficultés d'organisation des entreprises. Cependant, il apparaît que la notion d'intégration a été négligée dans la conception de ces produits. Chaque outil permet de simuler une partie du système de fabrication sans avoir à se soucier des autres. Ainsi:

### **8.1 La méthode GRAI :[5]**

La méthode GRAI est une méthode basée sur la modélisation d'entreprise avec pour but la conception ou la ré conception des systèmes de production (industriels ou de service).La méthode GRAI se focalise sur la partie décisionnelle(système de conduite).La méthode GRAI s'applique dans une optique générale d'amélioration des performances.

### **8.2 La méthode SADT : [6]**

(Structured Analysis and Design Technique) SADT permet non seulement de décrire les tâches du projet et leurs interactions, mais aussi de décrire le système que le projet vise à étudier, créer ou modifier, en mettant notamment en évidence les parties qui constituent le système, la finalité, le fonctionnement de chacune, et les interfaces entre les diverses parties partie qui font qu'un système n'est pas une simple collection d'éléments indépendants, mais une organisation structurée de ceux-ci dans une finalité précise.

# *Chapitre I : Modélisation des Systèmes de Production*

---

- Objectif :
- Méthode d'analyse fonctionnelle et de gestion de projets
- Spécification de n'importe quel système
- Démarche d'analyse structurée qui identifie et organise les détails d'un système qu'on veut appréhender suivant une hiérarchie de modèles parfaitement référencée

## **8.3 La méthode MERISE :[7]**

MERISE est une méthode d'analyse, de conception et de réalisation de SI informatisés. Elle est basée sur la séparation des données et des traitements à effectuer et préconise d'analyser séparément données et traitements, à chaque niveau. On aura pris soin de vérifier la cohérence entre ces deux analyses avant la validation et le passage au niveau suivant. Cette séparation assure une longévité au modèle. En effet, l'agencement des données n'a pas à être souvent remanié, tant que les traitements le sont plus fréquemment

## **8.4 La méthode Grafcet :[8]**

Le GRAFCET (acronyme de « GRAPhe Fonctionnel de Commande Etapes/Transitions ») est un mode de représentation et d'analyse d'un automatisme, particulièrement bien adapté aux systèmes à évolution séquentielle, c'est-à-dire décomposable en étapes. Le Grafcet est un diagramme fonctionnel dont le but est de décrire graphiquement, suivant un cahier des charges, les différents comportements de l'évolution d'un automatisme séquentiel. Il est à la fois simple à utiliser et rigoureux sur le plan formel et constitue un unique outil de dialogue entre toutes les personnes collaborant à la conception, à l'utilisation ou à la maintenance de la machine à automatiser. Un des points forts du Grafcet est la facilité de passer du modèle à l'implantation technologique de celui-ci dans un automate programmable industriel. Le Grafcet passe alors du langage de spécification au langage d'implémentation utilisé pour la réalisation de l'automatisme. On parle ainsi de Grafcet de spécification (niveau 1) et de Grafcet de réalisation (niveau 2). Les chapitres suivants seront donc consacrés à la définition du Grafcet et à son utilisation en tant que langage d'implémentation normalisé.

## **8.5 Les réseaux de Petri :**

Les réseaux de Pétri ont connu depuis leur invention en 1962 par Carl Adams Pétri un réel succès en raison de leur simplicité mathématique, des avantages de leur représentation graphique et de leur compacité. C'est l'un des outils les plus populaires pour la modélisation de systèmes à événements discrets et ses domaines d'applications sont très vastes, on peut citer: l'évaluation des performances des systèmes discrets, les protocoles de communication, la commande des ateliers de production, la conception de logiciels temps-réel et /ou distribués, les systèmes d'information (organisation des entreprises) et les interfaces homme-machine. Une littérature très nombreuse existe sur les réseaux de Pétri, leurs fondements théoriques et leurs applications pratiques

La construction de modèles est principalement une tâche créative, donc difficile à automatiser. Néanmoins, pour un type de systèmes et de problèmes donnés, il peut s'avérer utile d'une manière ou d'une autre limiter la créativité, soit pour générer automatiquement le modèle à partir d'un haut niveau) description de l'agencement de l'usine, des machines, de la

# *Chapitre I : Modélisation des Systèmes de Production*

---

manutention, du stockage et systèmes de récupération, plan de travail, etc., ou pour faciliter la une analyse.

Les formalismes des réseaux de petri (bas ou haut niveau, discret ou continu, etc.) sont adéquats pour construire des modèles de système de production

Dans les formalismes opérationnels (c'est-à-dire décrivant comment le système est censé fonctionner plutôt que ce que le système est censé faire), un système peut être considéré comme un collection d'objets ou d'entités avec des attributs attachés, certains d'entre eux fixes et certains d'entre eux variables (qui définissent l'état), et les relations entre leur. Dans les RDP, l'état d'un système est représenté de manière distribuée par le accouplement : les places sont des variables d'état locales dont la valeur (ou le marquage), selon au niveau d'abstraction choisi, va de booléen (ce qui est suffisant pour modélisation de contrôle local, par exemple), à typé et structuré (qui peut être adéquat pour des descriptions de système concises). Les changements d'état possibles sont localement définis au moyen de transitions et de la règle de déclenchement ou d'occurrence. En autonome modèles RDP, la règle d'occurrence ne considère que le marquage, donc le marquage est correctement une description de l'état du système. Néanmoins, depuis les transitions sont associés à des événements dans le système, et ces événements peuvent se produire en fonction sur des considérations "externes", telles que le timing, ou certains signaux, implicitement (ou explicitement), les changements d'état impliquent plus d'informations que le marquage, donc le marquage n'est plus une description suffisante de l'état du système à marly modèles RDP interprétés.

Les modèles de systèmes RDP ne sont pas aussi différents qu'ils peuvent sembler à première vue d'autres modèles qui sont familiers aux ingénieurs de contrôle. Par exemple, dans le RDP les formalismes sont introduits de manière proche de la description par état de systèmes continus échantillonnés.

Nous supposons que le lecteur est familiarisé avec les concepts de base de RDP. Les caractéristiques attrayantes de RDP comprennent :

- Capacité à représenter de manière naturelle la concurrence, la causalité, la synchronisation, partage de ressources, conflits, mouvements en masse ou par lot, etc.
- Localité des états et des actions, permettant à la fois un modèle descendant et ascendant construction, c'est-à-dire raffinement, modularité, réutilisabilité, etc.
- Compacité due à la représentation d'état distribuée par rapport à une représentation séquentielle centralisée.
- Adéquation pour représenter les caractéristiques essentielles d'un système donné par le sélection d'un niveau d'abstraction approprié.
- Interprétabilité. Il est possible d'associer un large éventail de significations différentes et/ou de connexions au monde extérieur aux objets modèles ; différent les interprétations sont adaptées aux différentes finalités du modèle : validation, évaluation des performances, ordonnancement, mise en œuvre du contrôle, etc.
- Représentation graphique facilitant leur utilisation dans la documentation et le suivi du système.
- Sémantique formelle/précise permettant d'entreprendre une analyse rigoureuse ou d'automatiser l'implémentation ou la génération de code soit pour le contrôle soit pour la simulation.

# *Chapitre I : Modélisation des Systèmes de Production*

---

## **Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté un aperçu sur la modélisation des systèmes de production en utilisant des outils analytiques.

La modélisation des systèmes de production est difficile en raison du nombre et de la diversité des paramètres à prendre en compte et de la complexité des relations entre ces paramètres.

---

# *Chapitre II :*

## *Les réseaux de Petri*

---

**1 Introduction :**

Les réseaux de Petri sont un cadre de modélisation graphique et mathématique applicable aux systèmes discrets. Les réseaux de Petri sont un outil prometteur pour représenter et étudier les systèmes de traitement de l'information caractérisé comme étant concurrent, asynchrone, distribué, parallèle, non déterministe et stochastique. En tant qu'outil graphique, les réseaux de Petri peuvent être utilisés comme aide à la communication visuelle similaire aux organigrammes, blocs schémas et réseaux. De plus, des jetons sont utilisés dans ces réseaux pour simuler les activités dynamiques et concurrentes des systèmes. Comme un formalisme mathématique, il est possible de mettre en place des équations d'état, algébriques équations et autres modèles mathématiques régissant le comportement des systèmes. Les réseaux de Petri peuvent être utilisés à la fois par les praticiens et théoriciens. Ainsi, ils constituent un puissant moyen de communication entre eux : les praticiens peuvent apprendre des théoriciens comment faire leur modèles plus méthodiques, et les théoriciens peuvent apprendre de praticiens comment rendre leurs modèles plus réalistes.

La modélisation des systèmes de production nécessite de trouver un outil de modélisation tient compte de ces aspects, en utilisant des réseaux de petri, qui permet la description et l'analyse des fonctionnalités du système production.

**2 Les Réseaux de Petri : [10]**

Les RdP ont été introduits par Carl Adam Petri en 1962. Ils constituent un puissant outil graphique de représentation de phénomènes complexes et des mécanismes séquentiels. Ils sont largement utilisés pour l'analyse et la modélisation des systèmes à événements discrets.

**2.1 Définition 1:**

Définition 1 Un RdP non marqué est un graphe biparti constitué de places, de transitions (correspondant aux sommets du graphe) et d'arcs qui relient les transitions aux places et les places aux transitions. Il est représenté par un quadruplet  $Q = \langle P, T, I, O \rangle$

$P$  : est un ensemble fini et non vide de places.

$T$  : est un ensemble fini et non vide de transitions.

$P \cap T = \emptyset$  : les ensembles  $P$  et  $T$  sont disjoints

$I$  : est l'application d'incidence avant :  $I : P \times T \rightarrow \mathbb{N}$  (ensemble des entiers naturels), correspondant aux arcs directs des places vers les transitions.

$I(p,t) > 0$  signifie qu'il existe un arc orienté de  $p$  vers  $t$  et  $I(p,t)$  est la valuation de cet arc.

$I(p,t) = 0$  indique l'absence d'arc orienté reliant la place  $p$  à la transition  $t$ .

$O$  : est l'application d'incidence arrière :  $O : T \times P \rightarrow \mathbb{N}$  correspondant aux arcs directs liant les transitions aux places.

$O(t,p) > 0$  signifie qu'il existe un arc orienté de  $t$  vers  $p$  et  $O(t,p)$  est la valuation de cet arc.

$O(t,p) = 0$  indique l'absence d'arc orienté reliant la transition  $t$  à la place  $p$ .

Si  $O(t,p) > 0$  (respectivement  $I(p,t) > 0$ ), la transition  $t$  est une transition de sortie (respectivement d'entrée) de la place  $p$ . La place  $p$  est dite place d'entrée (respectivement de sortie) de la transition  $t$ .

Lorsque les applications  $I$  et  $O$  prennent leurs valeurs dans la paire  $\{0, 1\}$ , le réseau est dit ordinaire. Dans la suite, nous supposons que le RdP considéré est ordinaire.

**Notations :**

$t^\circ$  (respectivement  ${}^\circ t$ ) : l'ensemble des places de sortie (respectivement d'entrée) de la transition  $t$ ,

$p^\circ$  (respectivement  $^\circ p$ ) : l'ensemble des transitions de sortie (respectivement d'entrée) de la place  $p$ .

**2.2 Définition :**

Un RdP marqué est un doublet  $R = \langle R', M_0 \rangle$  dans lequel  $R'$  est un RdP non marqué et  $M_0$  un marquage initial.

Dans un RdP marqué, chaque place contient un nombre entier (positif ou nul) de marques ou jetons. Le nombre de marques contenu dans une place  $p_i$  est noté  $M(p_i)$ . Le marquage du réseau  $M$  est défini par le vecteur de ces marquages. Le marquage à un certain instant définit l'état du RdP, ou plus précisément l'état du système décrit par le RdP.

**Règle de fonctionnement**

Une transition  $t$  est dite franchissable ou tirable ou validée pour un marquage  $M$  si et seulement si :

$$\forall p \in {}^\circ t, M(p) \geq I(p,t)$$

La mise à feu d'une transition  $t$  a pour conséquence :

- de retirer  $I(p,t)$  marques de chaque place d'entrée  $p$  de la transition  $t$ ,
- d'ajouter  $O(t,p)$  marques dans chaque place de sortie  $p$  de la transition  $t$ .

Le tirage de la transition  $t$  provoque le passage d'un marquage  $M$  à un marquage  $M'$  tel que :

$$\forall p \in P, M'(p) = M(p) + O(t,p) - I(p,t)$$

On appelle matrice d'incidence avant la matrice :

$$W^- = (w_{ij}^-) \text{ ou } w_{ij}^- = I(p_i, t_j)$$

On appelle matrice d'incidence arrière la matrice :

$$W^+ = (w_{ij}^+) \text{ ou } w_{ij}^+ = I(t_i, p_j)$$

On appelle matrice d'incidence la matrice :  $W = W^+ - W^-$ . Une colonne de cette matrice correspond à la modification du marquage apportée par le franchissement de la transition correspondante.

Pour une séquence de franchissement  $s$ , suite de transitions qui sont franchissables successivement (sans autres franchissements de transitions), partant d'un marquage initial  $M_0$  et conduisant au marquage  $M$ , l'équation fondamentale du RdP s'écrit :

$$M = M_0 + W.S$$

où  $S$  est le vecteur caractéristique correspondant à la séquence de franchissements  $s$ .

L'équation fondamentale donne le marquage final connaissant le marquage initial et la séquence de transitions franchies. Mais elle ne permet pas de vérifier si le franchissement d'une séquence donnée est possible. Elle constitue alors une condition nécessaire d'accessibilité.

**3 Réseaux de pétri autonomes : [11]**

D'une manière informelle, un RdP est un graphe biparti, c'est-à-dire avec deux types de nœuds, les places (représentées par des cercles) et les transitions (représentées par des barres), des arcs permettent de relier une place à une transition ou une transition à une place. Un poids (nombre entier strictement positif) est affecté à chaque arc, ce poids vaut 1 quand ce n'est pas précisé. Le RdP est dit ordinaire si les valeurs de tous ses poids valent 1, et il est dit généralisé dans le cas contraire. L'ensemble des places ainsi que l'ensemble des transitions sont finis et non vides. Chaque place contient un nombre entier (qui peut être nul) de jetons ou marques, c'est le mouvement de ces jetons entre les places qui décrit la dynamique du système. Le marquage d'un RdP est un vecteur dont la dimension est égale au nombre de places et dont les composantes sont des entiers positifs ou nuls.

**4 Réseaux de pétri non autonomes : [12]**

Un RdP non autonome décrit le fonctionnement d'un système dont l'évolution est conditionnée par des événements externes ou par le temps. Un RdP non autonome est synchronisé et/ou temporisé.

**5 Réseaux de Petri synchronisé :[13]**

Dans un RDP autonome, on sait qu'une transition peut être déclenchée si elle est activée, mais nous ne savons pas quand il sera licencié. Dans un réseau de Petri synchronisé, un événement est associée à chaque transition, et le déclenchement de cette transition aura lieu :

- si la transition est activée,
- lorsque l'événement associé se produit.

Les événements extérieurs correspondent à un changement d'état du monde extérieur (y compris l'heure); par opposition, un changement d'état interne, un changement de marquage, pourrait être appelé un événement interne. Une occurrence d'événement n'a pas de durée.

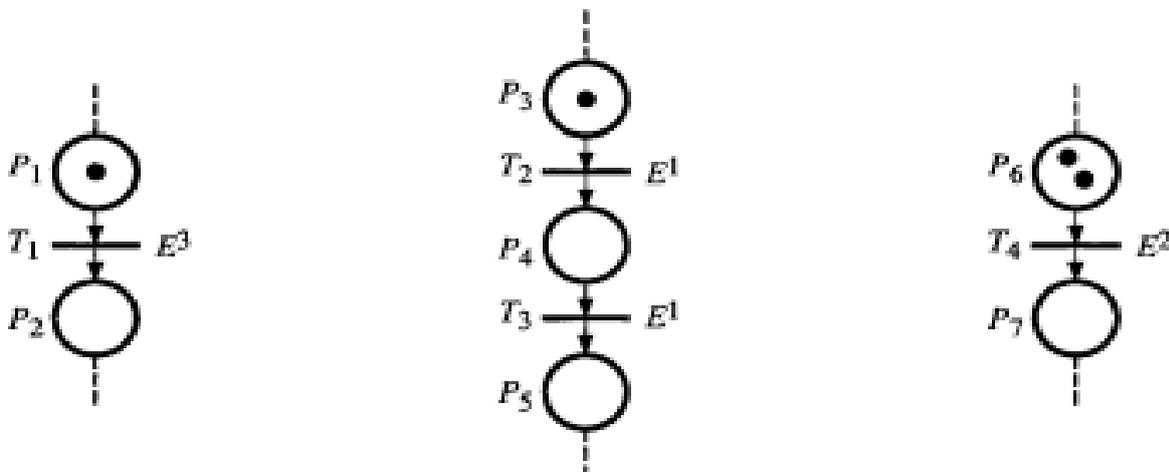
**5.1 Définition :**

Un RdP synchronisé est un triplet (R, E, Sync) tel que :

- R est un RdP marqué,
- E est un ensemble d'événements extérieurs,
- Synchronisation est une fonction de l'ensemble T des transitions de R vers  $E \cup \{e\}$  dans où e est l'événement qui se produit toujours (c'est l'élément neutre de le monoïde  $E^*$ )

**5.1.1 Principe :**

L'ensemble des événements externes est  $E = \{E, E_2, \dots\}$ . La notation  $E^i$  ( $E$  super i) correspond au "nom" d'un événement externe. La notation  $E_j$  ( $E$  sub j) correspond à l'événement associé à la transition  $T_j$ ,



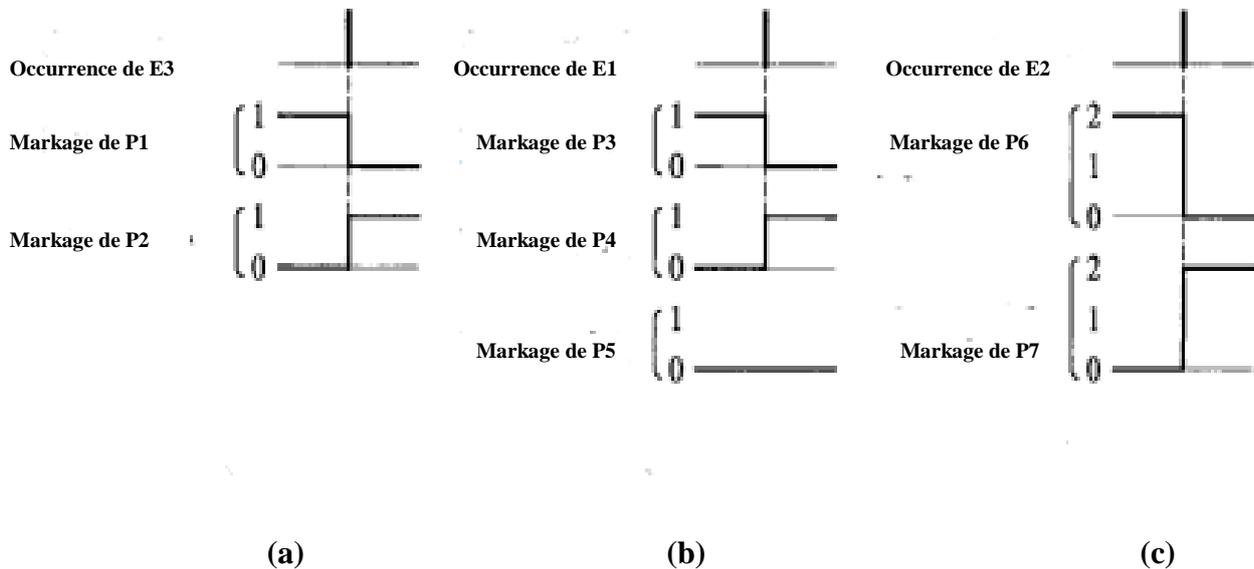


Figure 1: Principe de tir d'une transition synchronisée

## 6 Réseau de Pétri temporisé :

Un réseau de Pétri temporisé permet de décrire un système dont le fonctionnement dépend du temps (par exemple : dans un système de production ou d'assemblage, toutes les opérations demandent un certain délai de réalisation). Il peut s'écouler une certaine durée entre le début d'une opération et la fin de cette opération.

Les RdPs temporisés sont utiles pour l'évaluation des performances d'un système. Soit les temporisations sont associées aux places ( RdP P-temporisé) soit aux transitions (RdP T-temporisé). [14]

### 6.1 Le réseaux de Petri P-temporisé :

• Un RdP P-temporisé est un doublet  $\langle PN, \text{Temp} \rangle$  où:

- PN: est un réseau de Petri marqué
- Temp: application de l'ensemble P dans l'ensemble des nombres rationnels positifs.
- $\text{Temp}(P_i) = d_i$  = la temporisation de la place  $P_i$

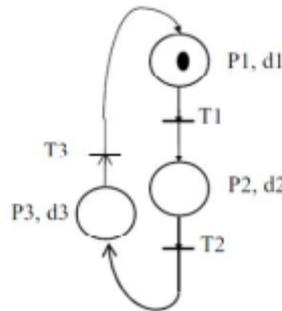
Les RdPs P-temporisés

Fonctionnement :

- Lorsque une marque est déposée dans une place  $P_i$ , cette marque doit rester au moins un temps  $d_i$

- La marque est donc indisponible
- Quand le temps  $d_i$  est écoulé la marque devient disponible pour le franchissement
  
- Le franchissement des transition s'effectue comme dans RdP autonome, il y a une durée nulle. [15]

### Exemple :



**Figure 2: Exemple de RdP P-temporisé**

Le jeton du marquage initial  $M_0=(1,0,0)$  est disponible. Donc à  $t=0$ ,  $d_1=0$  et T1 est franchie, Un jeton est alors déposé dans P2.

→ À  $0 < t < d_2$ , le jeton est emprisonné dans P2, il est indisponible, T2 est validée mais non franchissable.

→ À  $t = d_2$ , le jeton devient disponible, T2 est franchissable et franchie aussitôt. Un jeton est déposé dans P3.

→ À  $d_2 < t < d_3$ , le jeton est emprisonné dans P3, il est indisponible, T3 est validée mais non franchissable

À  $t = d_3$ , le jeton devient disponible, T3 est franchissable et franchie aussitôt. Le jeton revient à P1. [11]

### 6.2 Le réseaux de Petri T-temporisé :

• Un RdP T-temporisé est un doublet  $\langle PN, Temp \rangle$  où:

- PN: est un réseau de Petri marqué
- Temp: application de l'ensemble T dans l'ensemble des nombres rationnels positifs.
- $Temp(T_i) = d_i =$  la temporisation de la transition  $T_i$  [15]

Dans ce type de réseaux, les compteurs qui incrémente le temps sont liés aux jetons (qui mémorisent ainsi leur date d'arrivée dans une place si plusieurs jetons sont déjà présents). Ce type de RdP est plutôt dédié à la simulation des systèmes réels. [16]

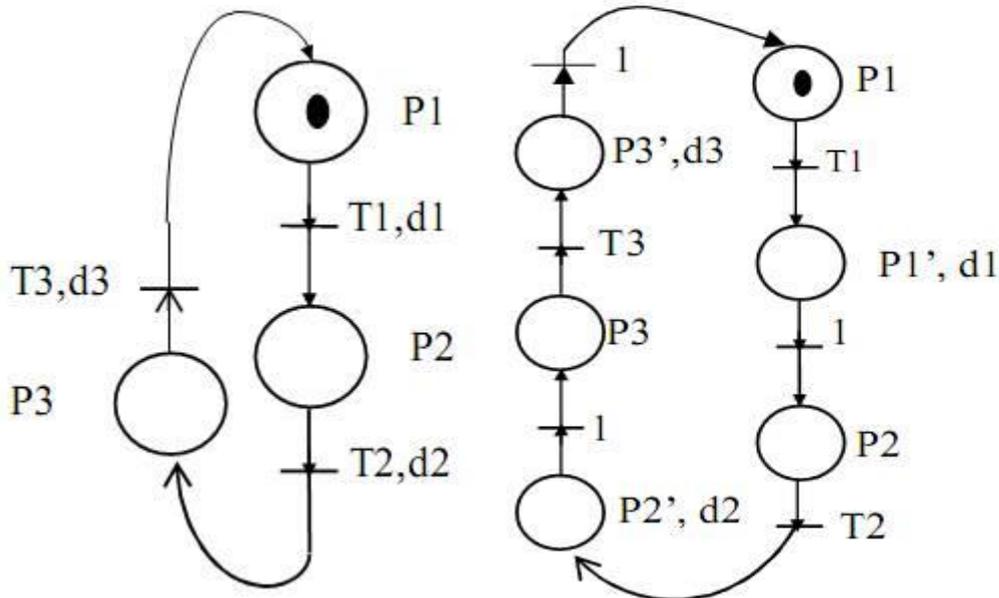


Figure 3: Transformation d'un RdP T-temporisé en RdP P-temporisé

1. Le passage assez facile du modèle T-temporisé au modèle P-temporisé permet l'utilisation de tous les calculs et les définitions précédentes sans trop de peine.
2. La définition du réseau de pétri précise que le franchissement d'une transition est instantané, le modèle RdP P-temporisé serait donc le plus proche du concept de base.[11]

## 7 Réseau de Petri Interprété:[17]

### Définition :

Un RdP Interprété est un quadruplet  $\langle R, X, Pred, Act \rangle$  où :

- $R$  est un RdP marqué ;
- $X$  est un ensemble fini de variables ;
- $Pred$  est une application qui associe à chaque transition un prédicat, qui est une expression booléenne, construite sur les variables de l'ensemble  $X$ . Par défaut, la valeur du prédicat associée à une transition est vraie ;
- $Act$  est une séquence d'instructions mettant à jour quelques variable de  $X$ , par défaut, cette séquence est vide et rien n'est exécuté.

L'état d'un RdP interprété est représenté par un couple  $(M, val)$ , où  $M$  est le marquage de  $R$  et  $val$  une application qui donne des valeurs à toutes les variables de  $X$ . L'état initial est  $(M_0, val_0)$ .

Une transition  $t$  est franchissable pour un état  $(M, val)$  est  $t$  est franchissable pour le

marquage  $M$  dans  $R$  et si l'évaluation de  $P \text{ red}(t)$  dans l'état où chaque variable  $x$  de valeur  $val(x)$  est vraie. Si  $t$  est tirées pour un marquage  $M$  dans  $R$  et  $val$ , le nouvel état atteint est  $(M_0, val_0)$  où

- $M_0$  est le nouveau marquage,
  - $val_0$  nouvelle valeur des variables de  $X$ , résultant des séquences d'instructions  $Act(t)$ .
- Le formalisme des RdP Interprétés, est principalement utilisé pour la simulation, le développement de prototype et pour les algorithmes distribués.

### 8 Réseau de Petri stochastique : [13]

Fondamentalement, un RdP stochastique peut être considéré comme un RdP temporisé dans lequel les temps ont des valeurs stochastiques.

La figure a illustre une transition dans un tel RdP : le déclenchement de la transition  $T_1$  survient lorsqu'un temps  $d_1$  s'est écoulé après son activation et ce temps est une valeur aléatoire. Dans ce modèle de base, généralement appelé PN stochastique, la variable aléatoire  $d_1$  suit une loi exponentielle de taux  $\mu$ . Cela signifie que :

$$\Pr[d_1 \leq t + dt \mid d_1 > t] = \mu \cdot dt.$$

La densité de probabilité et la fonction de distribution de cette loi sont, respectivement

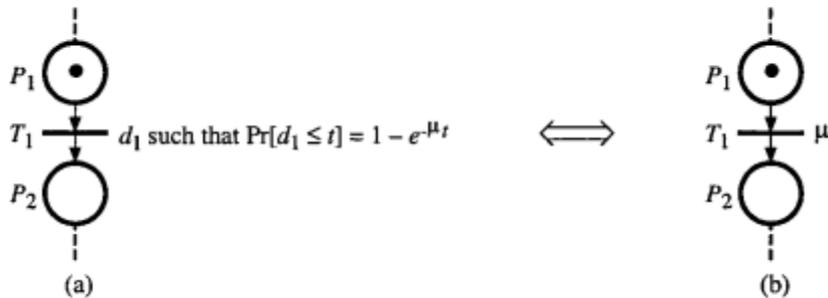


Figure 4::Notation pour un RdP stochastique. (a) Spécifié, (b) Habituel

$$h(t) = \mu \cdot e^{-\mu t}$$

$$H(t) = \Pr[d_1 \leq t] = 1 - e^{-\mu t}$$

La valeur moyenne de cette loi est  $1/\mu$  et sa variance  $1/\mu^2$ . Il est clair, dès les équations précédentes, que cette loi est complètement définie par le paramètre  $\mu$ . Ainsi, il est généralement désigné par ce paramètre comme illustré à la Figure 4

**1.1. Définition :** Un RdP stochastique est un couple  $(R, Rate)$  tel que :

$R$  est un RdP marqué ;

Rate est une fonction de l'ensemble  $T$  des transitions vers l'ensemble des valeurs positives finies nombres réels.  $Rate(T_j) = \mu_j =$  cadence de tir associée à  $T_j$  .

Une caractéristique fondamentale d'une loi exponentielle est la propriété sans mémoire, c'est-à-dire :

$$\Pr[d_1 \leq t_0 \mid d_1 > t_0] = \Pr[d_1 \leq t]$$

Cette propriété peut être interprétée de la manière suivante : soit  $d_j$  un nombre aléatoire variable distribuée exponentiellement, représentant par exemple le temps de service d'un

client. Le service de ce client commence à l'instant  $t = 0$ . Si à l'instant  $t_0$  le service n'est pas encore terminé, la loi de distribution du temps de service résiduel est exponentielle avec le même taux que la loi de distribution de  $d_j$ .

### 9 Réseau de Petri généralisé :[18]

Un RdP dans lequel des poids (nombres entiers strictement positifs) sont associés aux arcs.

L'arc  $P_i \rightarrow T_i$  a un poids  $p$

La transition  $T_i$  ne sera validée que si  $P_i$  contient au moins  $p$  jetons.

Lors du franchissement de cette transition,  $p$  jetons seront retirés de la place  $P_i$ .

Lorsqu'un arc  $T_i \rightarrow P_i$  a un poids  $p$  cela signifie que lors du franchissement de  $T_i$ ,  $p$  jetons seront ajoutés à la place  $P_i$ .

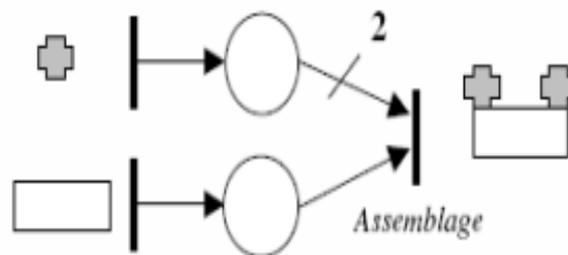


Figure 5:Exmepile RdP généralisé

### 10 Réseau de Petri à capacité :[18]

Un RdP dans lequel des capacités (nombres entiers strictement positifs) sont associés aux places. Le franchissement d'une transition d'entrée d'une place  $P_i$  dont la capacité est  $cap(P_i)$  n'est possible que si le franchissement ne conduit pas à un nombre de jetons dans  $P_i$  qui dépasse cette capacité.

### 11 Réseaux de Petri a arc inhibiteur :[19]

Un arc inhibiteur est un arc orienté qui part d'une place  $P_i$  pour aboutir a une transition  $T_j$ . Son extrémité est marquée par un petit cercle (figure). L'arc inhibiteur entre  $P_i$  et  $T_j$ . Signifie que la transition  $T_j$  n'est validée que si la place  $P_i$  ne contient aucune marque. Dans le cas d'un réseau de pétri généralisé,  $T_j$  n'est valide que si la place  $P_i$  contient un nombre de jetons inférieur au poids de l'arc inhibiteur

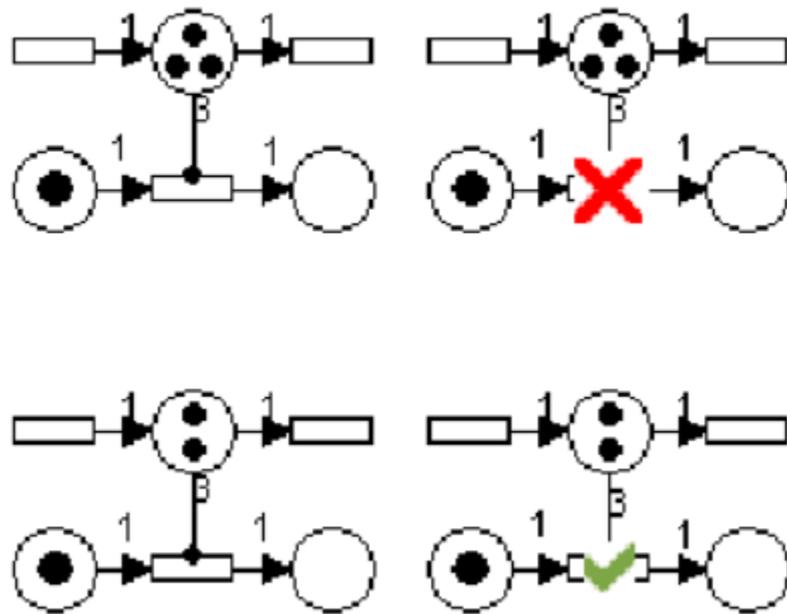


Figure 6: Réseau de Petri à arc inhibiteur

## 12 Réseau de Petri coloré :

Réseaux de Pétri colorés Lors de la modélisation de larges systèmes, le besoin de distinguer certaines catégories de jetons est apparu afin de réduire leur taille. Pour résoudre ce problème, on ajouta des couleurs aux réseaux de Pétri. Ainsi, les jetons d'un réseau sont caractérisés par une couleur et il devient possible d'exprimer dans un même réseau les différents comportements dynamiques en fonction de la couleur des jetons. Le pouvoir d'expression des réseaux de Pétri colorés est ainsi plus grand, tout en évitant une multiplication des éléments d'un réseau (places et transitions). Deux équipes ont modélisé et simulé des processus biologiques avec des réseaux de Pétri colorés. Dans les deux cas, le logiciel 10 Design/CPN [, qui est un ensemble d'outils d'édition et de simulation pour réseaux de Pétri colorés, a été employé. Toutefois, leurs approches sont différentes et les couleurs attribuées aux jetons de leur modèle n'ont pas la même signification. [SH]

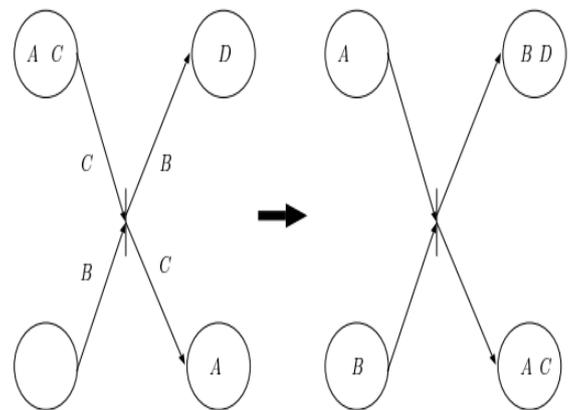
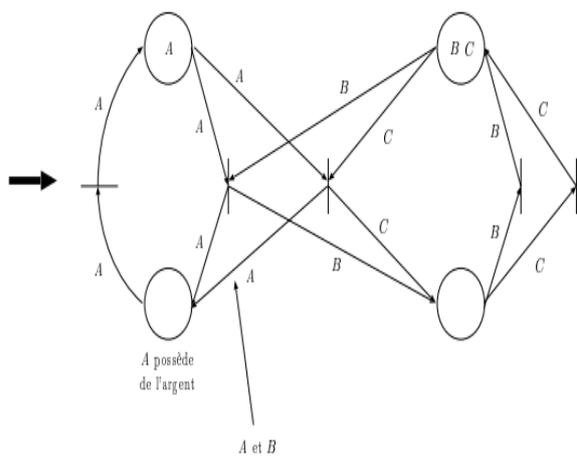
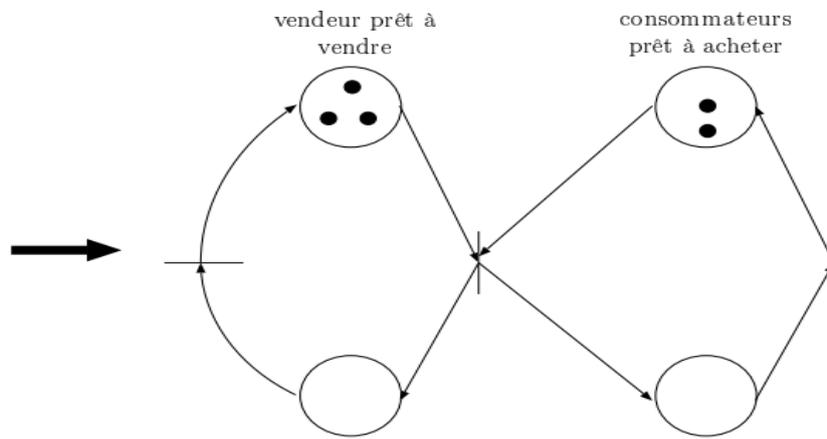
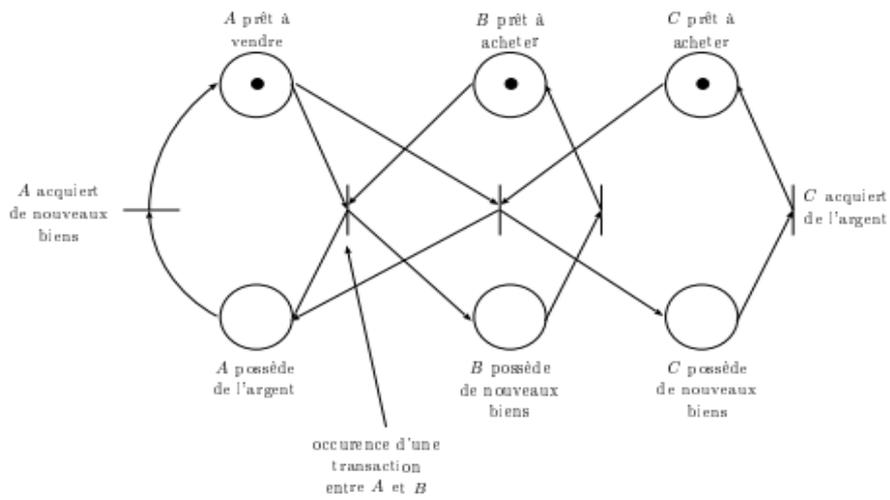
### Définition :

Un réseau de Pétri coloré  $N$  est défini par  $(P, T, \text{Pré}, \text{Post}, C, M_0)$  où :

$\{P, T, \text{Pré}, \text{Post}, M_0\}$  est un réseau de Pétri tel que décrit par la définition 1;

$C = \{C_1, C_2, \dots\}$ , un ensemble de couleurs. Les applications d'incidence Pré et Post sont des fonctions de la couleur des jetons tirés. [20]

Exemple : Un exemple de réseau coloré. Soit un marché de biens comprenant un vendeur A et deux acheteurs B et C [21]



(c)

(d)

Figure 7: Exemple de réseau coloré (a,b,c,d)

### 13 Réseaux de Petri continus :

Les RdP continus ont été définis par David et Alla comme une limite des RdP discrets, obtenus à partir de ces derniers en fluidifiant les marques. Une place d'un RdP continu est dite place continue ou C-place. Son marquage est un nombre réel positif ou nul. De même, une transition dans un RdP continu est dite transition continue, ou C-transition, elle est validée si toutes ses places d'entrée sont marquées. A l'inverse des RdP discrets où le franchissement d'une transition est un événement instantané, une C-transition est franchie continuellement dans le temps. [11]

Les RdP continus sont un outil de modélisation des systèmes dynamiques où toutes les variables d'état sont continues et positives.

Exemple :[15]

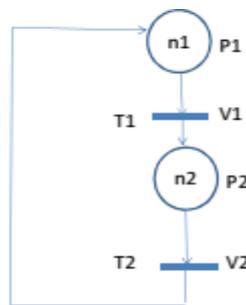


Figure 8: RdP continu simple

#### 13.1 Le RdP continu à vitesse constante :

Des quatre modèles RdP continu, celui à vitesse constante (RdPCC) a été le premier à être défini. C'est aussi le plus simple et le plus aisé à comprendre sur le plan intuitif. Une vitesse de franchissement maximale est associée à chaque transition  $T_j$ . Tant que la place d'entrée de la transition n'est pas vide, la transition est franchie selon sa vitesse maximale. Si la place d'entrée est vide mais qu'elle est alimentée en amont par une autre transition  $T_k$ , alors la vitesse de franchissement est le minimum des vitesses maximales des deux transitions  $T_j$  et  $T_k$ . [11]

#### Définition : (RdP continu à vitesse constante) :

Un RdPCC est un couple  $PNCC = (PNC, V)$  tel que :

- PNC est RdP continu autonome ;
- $V : T \rightarrow R^+$

$T_j \rightarrow V_j$ , la vitesse de franchissement maximale de la transition  $T$

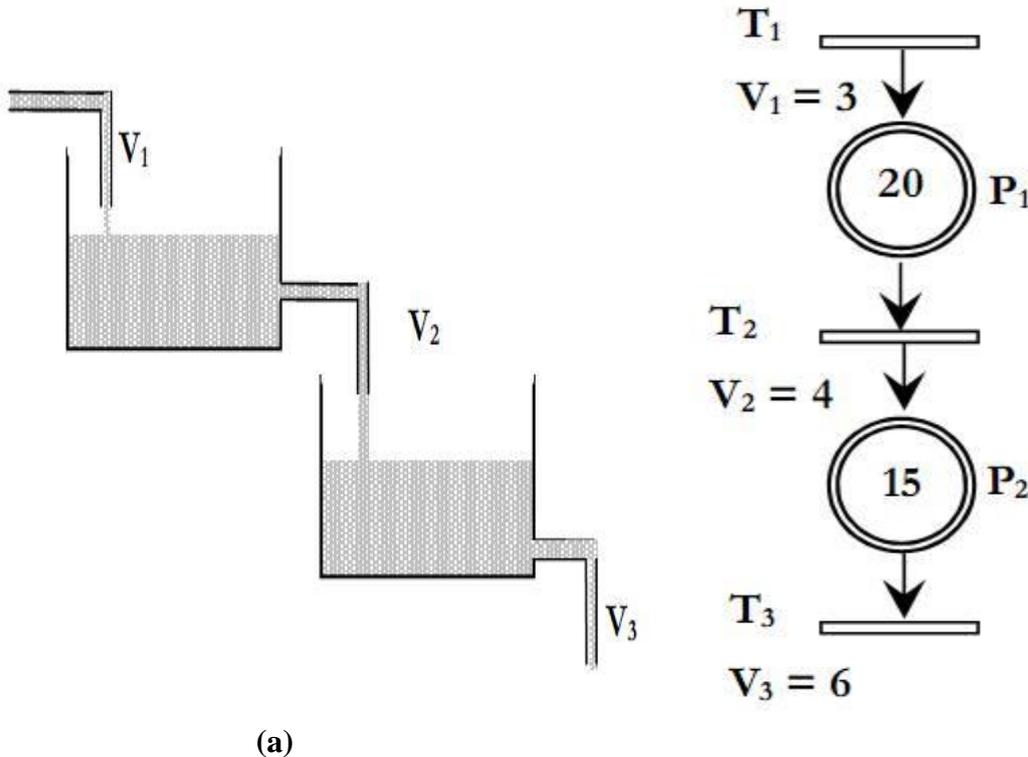
Le fonctionnement de ce modèle est clairement exprimé à travers l'équation fondamentale d'un RdP. L'équation fondamentale du RdP discret qui est

$$M' = M + W \cdot \bar{}$$

devient pour un RdPCC

Où  $W$  est la matrice d'incidence du RdP continu et  $v(t)$  est le vecteur des vitesses de franchissements instantanées des transitions. A titre d'illustration considérons les deux exemples suivants :

**Exemple :** Considérons un système constitué de deux réservoirs et de trois vannes, comme illustré dans la figure 9.a. Les vannes sont caractérisées par leur débit  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$  (litres/seconde), et sont supposées être ouvertes en permanence. [11]



**Figure 9: (a) Système hydraulique. (b) RdPCC modèle des systèmes en figures (a)**

A l'instant initial, les trois transitions sont fortement validées, une transition est dite fortement validée si toutes ses places d'entrée sont marquées, et elles sont franchies à leurs vitesses maximales. Le marquage des places  $P_1$  et  $P_2$  évolue suivant les équations suivantes

$$m_1(t + dt) = m_1(t) + (V_1 - V_2).dt$$

$$m_2(t + dt) = m_2(t) + (V_2 - V_3).dt$$

Puisque  $M_0 = [20 \ 15]T$

$$m_1(t) = 20 - t$$

$$m_2(t) = 15 - 2t$$

#### 14.2. Le RdP continu à Vitesses Variables :

Dans ce modèle la vitesse maximale de franchissement d'une transition dépend du marquage des places en amont de la transition et d'une valeur constante associée à la transition. Les marquages et les vitesses sont donc des fonctions continues du temps, alors que dans le RdP continu à vitesse constante cette propriété est vraie pour les marquages mais pas pour les vitesses qui sont simplement constantes par morceaux. Ce modèle fournit une meilleure approximation du RdP discret, en particulier lorsque le nombre de marques est petit, mais les simulations sont plus longues. Ici, le comportement événementiel est perdu, il faut discrétiser le temps pour faire une simulation.

#### 13.2 Le RdP continu Asymptotique :

Il est possible de distinguer plusieurs phases d'évolution du marquage. Chaque phase est caractérisée par une période durant laquelle le vecteur des vitesses de franchissement est

constant. La vitesse de franchissement d'une transition est alors constante par morceaux, et l'évolution du marquage est donc composée de plusieurs phases de fonctionnement. Il s'agit de l'approximation du RdP Continu à Vitesses Variables, mais la simulation est facilitée. [11]

### 13.3 Le RdP continu à Vitesses Fonction du Temps :

Cette extension des RdP continus temporisés permet de prendre en compte l'environnement du système modélisé comme par exemple la fluctuation de l'approvisionnement d'un atelier ou l'influence d'une commande extérieure. La vitesse maximale de franchissement d'une transition est soit une fonction continue du temps, soit une fonction constante par morceaux. La vitesse de franchissement à un instant donné est déterminée par une relation identique à celle du RdP continu temporisé, avec comme seule différence une vitesse maximale fonction du temps. Dans le cas de vitesses constantes par paliers, le RdP obtenu peut être vu comme une suite de RdP continus à vitesses constantes. Le modèle RdP continu est donc utilisé soit pour modéliser un système continu, soit pour constituer une approximation d'un système à événements discret, plus ou moins finement selon le modèle utilisé. Dans ce dernier cas, il permet de réduire le nombre d'événements qui devient important lorsqu'un modèle RdP discret contient un grand nombre de jetons. Ces modèles ne traitent pas la dynamique du système événement par événement mais suivent les évolutions moyennes. [11]

## 14 Réseaux de Petri hybride : [22]

### Définition :

Un RdP hybride autonome est un sextuple  $Q = \langle P, T, Pre, Post, m_0, h \rangle$  tel que:

$P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$  est un ensemble fini, non vide, de places ;

$T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$  est un ensemble fini, non vide, de transitions ;

$P \cap T = \emptyset$ , c'est-à-dire Les ensembles  $P$  et  $T$  sont disjoints ;

$h : P \cap T \rightarrow \{D, C\}$ , appelée « fonction hybride », indique pour chaque nœud s'il est un nœud discret (ensembles  $P^D$  et  $T^D$ ) ou un nœud continu (ensembles  $P^C$  et  $T^C$ ) ;

$Pre : P \times T \rightarrow R^+ \text{ ou } N$ , est la cartographie d'incidence d'entrée ;

$Post : P \times T \rightarrow R^+ \text{ ou } N$ , est la cartographie d'incidence de sortie ;

$m_0 : P \rightarrow R^+ \text{ ou } N$  est le marquage initial.

Dans la définition de  $Pre$ ,  $Post$  et  $m_0$ ,  $N$  correspond au cas où  $P_i \in P^D$ , et  $R^+$  correspond au cas où  $P_i \in P^C$ .

Les fonctions  $Pre$  et  $Post$  doivent répondre au critère suivant : si  $P_i$  et  $T_j$  sont un lieu et une transition telle que  $P_i \in P^D$  et  $T_j \in T^C$  alors  $Pre(P_i, T_j) = Post(P_i, T_j)$  doit être vérifié.

Dans un RdP hybride, le vecteur caractéristique  $s$  d'une séquence  $S$  est un vecteur dont chaque composante est soit un entier correspondant au nombre de tirs d'une D-transition soit un nombre réel non négatif correspondant à une quantité de déclenchement d'une transition C. Un marquage  $m$  se déduit d'un marquage  $m_0$  dû à une séquence  $S$ , en utilisant la relation fondamentale :

$$m = m_0 + W s.$$

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté un bref aperçu sur les Réseaux de Pétri et leurs diverses extensions. Nous avons vu les différents types de réseaux de Petri : discret qui est le formalisme de base, ensuite nous avons fait une synthèse rapide des RdPs autonome, non autonome, synchronisé, temporisés, stochastique, généralisé, à capacité, arc inhibiteur, coloré, continu, hybrides, et nous avons décrits brièvement les réseaux de Petri temporisé et précisément le Rdp T-temporisé que nous avons utilisé dans notre étude pour modéliser notre système de production.

---

# *Chapitre III :*

## *Réalisation de la simulation*

---

### 1 Introduction :

Aujourd'hui, le monde assiste à d'énormes progrès et développements dans le domaine de la simulation, qui se définit comme la traduction en temps réel d'un système de production pour résoudre des problèmes dans une situation existante ou un problème inattendu, permettant l'étude du comportement du système.

La modélisation de notre système de production par le réseau de Petri T-temporisé est réalisé a l'aide de GPenSim qui nous donne un langage de réseau de Petri pour la modélisation et la simulation de systèmes à événements discrets sur la plate-forme MATLAB, et nous avons opté aussi logiciel GRIF pour une simulation graphique de réseaux de Petri

### 2 Présentation de système de production :

Le système de production des profilés utilise supports mécaniques qui nécessitent des différentes étapes de fabrication. On donne dans ce qui suit une description du système de production de la manufacture des profilés.

Pour obtenir un profilé prêt à être stocké, il faut passer par les étapes suivantes:

- stockage de la matière première (profilés brutes),
- traitement sur machine,
- stockage des profilés finis, produits finis.

Il peut être présenté comme la figure suivante:

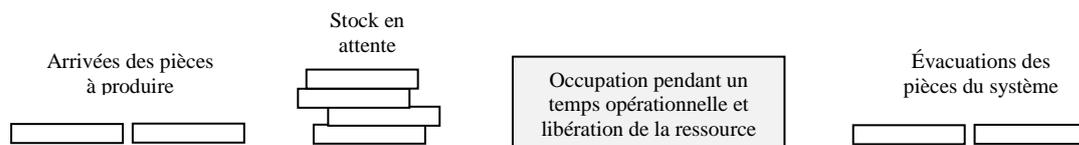


Figure 10 : schéma du Système à modéliser

#### 2.1 Présentation de l'atelier de confection

Un stock d'entrée d'alimentation permet la livraison du profilé (matières premières) stocké dans un stock de capacité infini. La chaîne est composée de trois machines  $M_1$ ,  $M_2$  et  $M_3$  qui représentent respectivement une machine de sciage à froid, une perceuse horizontale et une perceuse verticale. Des stocks intermédiaire de capacité infinie sont placés entre les machines, et enfin un stock de sortie qui permet la livraison de profilé (produits finis) selon la demande des clients. Les pièces seront évacuées à l'aide des systèmes de transport, assuré par des convoyeurs.

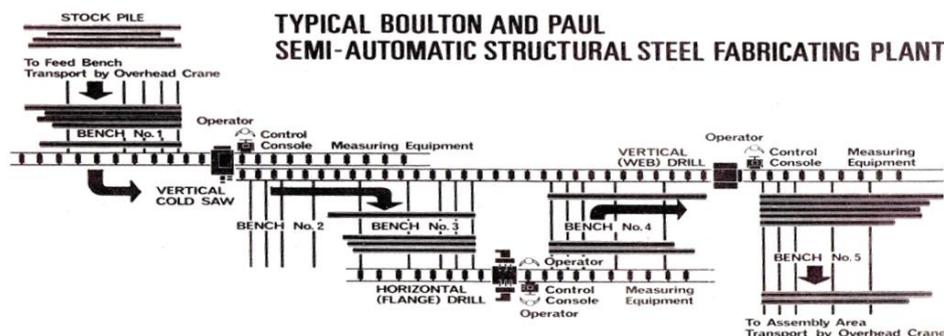


Figure 11 : schéma d'atelier à modéliser

Le matériel consiste en: une scierie à froid à course vertical, une perceuse horizontal à broches multiples et une perceuse verticale à broches multiples ainsi que la totalité des rouleaux mécaniques et bancs d'aménage mécaniques transversaux destinés à enchaîner ces unités.

Le banc d'aménage, ce banc consiste en : les glisseurs nécessaires, les dispositifs pousseurs mécaniques, transporteur mécanique à rouleaux. Ce banc servira soit à livrer les profilés au transporteur, soit à le transférer au deuxième banc d'aménage.

En vue des profilé très lourdes, de diverses qualités et épaisseurs, les bancs soient réalisés de façon à ce qu'ils puissent supporter ces charges élevées, les dispositifs pousseurs sont destinés à déplacer un poids non supérieur à 20 tonnes, tout en acceptant des surcharges intermittentes jusqu'à 25 tonnes.

Une section transporteuse (convoyeur) constituer un prolongement de 70m environ afin de transporter les profilés disposé des deux cotés et de bout à bout de se prolongement Perceuse horizontal à 12 broches :

Le taux de l'avance et de retour rapides est de 4.27 m/min environ, le taux de pression de perçage est réglable à variation continue de 0 jusqu'à 150 mm /min, les deux boites à quatre vitesses de broches égale à 200, 280, 360 et 490 tours/min.

Perceuse vertical à 6 broches:

Le taux de l'avance et de retour rapides est de 4.27 m/min environ, le taux de pression de perçage est réglable à variation continue de 0 jusqu'à 150 mm /min, une boîte à quatre vitesses offre les vitesses de broches égale à 200, 280, 360 et 490 tours/min.

Le banc d'enlèvement de déchet serait situé à coté du transporteur d'aménage de la scie opposé au banc principal d'aménage et serait destiné à faciliter le déchargement de déchets de la scierie sans qu'ils n'aient à passer à travers le reste des installations, de façon également à éviter qu'ils n'empêchent le passage des profilés depuis le banc d'aménage.

La scie est munie de quatre vitesses de sciage ainsi que d'un taux d'avancement à variation continue.

## 2.2 Identification des paramètres de qualité des profilés :

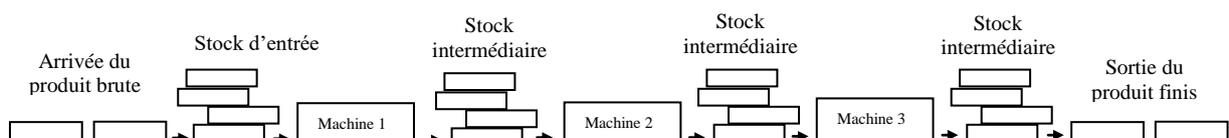
Pour les profilés, les paramètres fondamentaux et caractéristiques sont :

- Le poids en kilogramme
- Longueur en m
- Diamètre de perçage en mm

Ces paramètres de qualité dépendant du système de transformation, et de la matière première.

## 2.3 Position du problème

Pour des installations de type ligne de fabrication, les systèmes de convoyage jouent un rôle important sur les performances globales. Le besoin de modéliser ces systèmes est donc évident, dans le but d'étudier l'incidence des différents paramètres sur la productivité.



Les méthodes d'analyse de performances pour tels systèmes déterminent de façon analytique les caractéristiques de lignes de fabrication.

Dans les lignes de production, les transferts de produits entre machines et les stations de travail sont composés essentiellement de convoyeurs en série.

Un modèle basé sur les réseaux de Petri est utilisé pour maintenir une image interne de l'état courant du système d'activités, cet état évoluant en fonction des occurrences d'événements. Le réseau de Petri indique généralement à tout instant l'ensemble des décisions possibles, toute en respectant bien sûr les contraintes de disponibilité des ressources, de précedence entre tâches sur les gammes de production, ainsi les contraintes portant sur les capacités de stockage, l'utilisation ou la réservation de moyens de transport, etc.

Parmi la classe d'outils formels qu'offrent les Réseaux de Pétri, les Réseaux de Pétri T-temporisé s'avèrent bien adaptés à la modélisation et à l'analyse des performances des systèmes de production. Ce RDP plutôt dédié à la simulation des systèmes réels, donc les compteurs qui incrémente le temps sont liés aux jetons

alors ont s'orienté vers l'utilisation des modèles basés sur les réseaux de petri t-temporisé. Les temporisations associées aux transitions représentent les durées associées aux opérations à effectuer, ces durées sont des constantes propres au problème considéré. Les temporisations associées aux différentes transitions du RdP symbolisent, quant à elles, le franchissement des transitions sera a vitesse maximale.

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à la validation de cet outil de modélisation. L'application à un atelier de pièce représente bien la problématique de validité du modèle. Après une mise en situation de la manufacture dans son environnement productif et une analyse structurelle et fonctionnelle de l'atelier considéré, un modèle global réseau de Petri T-temporisé sera construit. Il sera construit par un modèles qui représente le système de traitement d'acier depuis le stock d'entrée jusqu'au stock de sortie. La validité du modèle sera obtenue à partir des données de production.

### **3 Modélisation de notre système de production :**

Toute modélisation d'un système est généralement dépendante de l'application dans laquelle elle sera utilisée. Nous cherchons donc une commande qui peut assurer un compromis entre les trois critères de performance de tout système de production: quantité, qualité et disponibilité par une approche s'appuyant sur un modèle réseau de Petri t-temporisé.

Dans ce qui suit nous allons présenter en premier temps le modèle de la cellule de fabrication décrite précédemment avec les explications et les commentaires nécessaires à la compréhension de son fonctionnement.

Ensuite, nous exposerons notre problématique pour construire un modèle qui permet d'intégrer les contraintes du produit fabriqué.

La construction du modèle global sera faite à partir d'une seul modèle de gammes de fabrication qui apparaissent sur la demande des ressources partagées (machines de production et le convoyage).

Grace au modèle élaboré on peut analyser le comportement du système et déterminer son évolution. Dans notre model les délais (durées) de traitement, est associées aux transitions qui modélisent les opérations ou l'état correspondant, qui représentent l'évolution des opérations de transport et d'usinage modélisée par les transitions correspondantes. Le changement d'état n'a pas de durées, donc le temps d'attente d'un événement est associe a une place, pour lequel

la transition en aval de la place sera franchie dès que l'événement apparaît.

#### 4 Modélisation par réseau de Petri :

La figure suivante présente un exemple d'illustration d'un produit fabriqué par trois types de machines  $M_1, M_2,$  et  $M_3$  successivement, le temps de fabrication sur  $M_1$  est  $d_1,$  sur  $M_2$  est  $d_2,$  et sur  $M_3$  est  $d_3.$  L'état du système est comme suit: une petite quantité dans  $P_1$  représente l'attente de la disponibilité de la ressource  $M_1,$  des que la machine est disponible, la transition  $T_1$  est franchie . Une petite quantité dans  $B1$  représente l'attente de la disponibilité de la ressource  $M_2,$  des que la machine est disponible, la transition  $T_3$  est franchie. Une petite quantité dans  $B2$  représente l'attente de la disponibilité de la ressource  $M_3,$  des que la machine est disponible, la transition  $T_5$  est franchie avec. Des stocks intermédiaires sont utilisés pour stocker les produits au cours de l'exécution. On considère les stocks intermédiaires  $B_1, B_2,$  et  $B_3$  de capacités de stockages  $C_1, C_2,$  et  $C_3$  respectivement. La disponibilité globale du système est déterminée en tenant compte de l'influence des stocks intermédiaire.

Pour déterminer la disponibilité du sous système, on introduit le taux de panne (E) et le taux de réparation (F) qui sont calculés sur la base des données fourni par l'entreprise. Les places  $p_8, p_9,$  et  $p_{10}$  sont des places de réparations des machines  $M_1, M_2,$  et  $M_3$  respectivement.

- On a modélise la gamme avec les Rdp, ensuite nous avons donné un exemple sur le calcul des marquages en utilisant l'équation fondamentale suivante :  $M_{k+1}=M_k+W * D_k ; D_k=W^{-}*M_0$

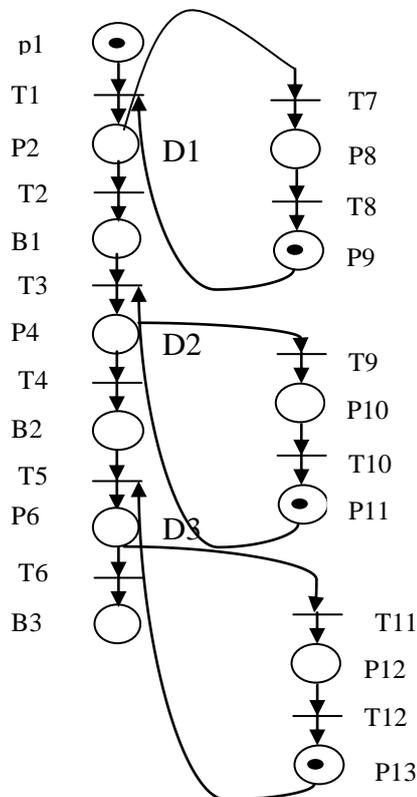


Figure 12 : Le RdP de système de production étudié

- **Gamme d'opération :**

IN⇒M1⇒M2→M3⇒OUT

### **Transition :**

T-1:Début de sciage à froid  
T-2:Fin de sciage à froid  
T-3:Début de pression horizontale  
T-4:Fin de pression horizontale  
T-5:Début de pression verticale  
T-6:Fin de pression verticale  
T-7: Cas de panne M1  
T-8: Fin réparation M 1  
T-9: Cas de panne M2  
T-10: Fin réparation M 2  
T-11: Cas de panne M3  
T-12: Fin réparation M 3

### **Places :**

P-1: Stock d'entrée (produit brute)  
P-2: Sciage à froid  
P-3: Machine 1 disponible  
P-4: Pression horizontale  
P-5: Machine 2 disponible  
P-6: Pression verticale  
P-7: Machine 3 disponible  
P-8: Réparation M1  
P-9: Réparation M2  
P-10: Réparation M3

B-1: Stock intermédiaire 1  
B-2: Stock intermédiaire 2  
B-3: Stock intermédiaire 3(produit fini)

### **Temps d'opération sur M1, M2, et M3 :**

D-1: Le temps de fabrication sur M1  
D-2: Le temps de fabrication sur M2  
D-3: Le temps de fabrication sur M3

Cas1 : sans panne et sans réparation :tableau de temps de fabrication d'un seul pièce (profilé) brute jusqu'au fini sur les machines M1, M2 ,et M3

Machine	Temps d'opération D (min)
M1	10 (D1)
M2	12 (D2)
M3	15(D3)

**Tableau 1 : temps d'opération sur les 3 machine sans panne et réparation**

Cas2 : avec panne et réparation :tableau de fabrication temps d'un seul pièce (profilé) brute jusqu'au fini et l'apparition des panne sur les machines M1, M2 ,et M3 et leur réparation

Mchine	Taux de panne E	Taux de réparation F	Temps de d'opération D(min)	Temps de d'opération avec E et F (min)
M1	2	13	10(D1)	25
M2	2	12	13(D2)	27
M3	2	17	15(D3)	34

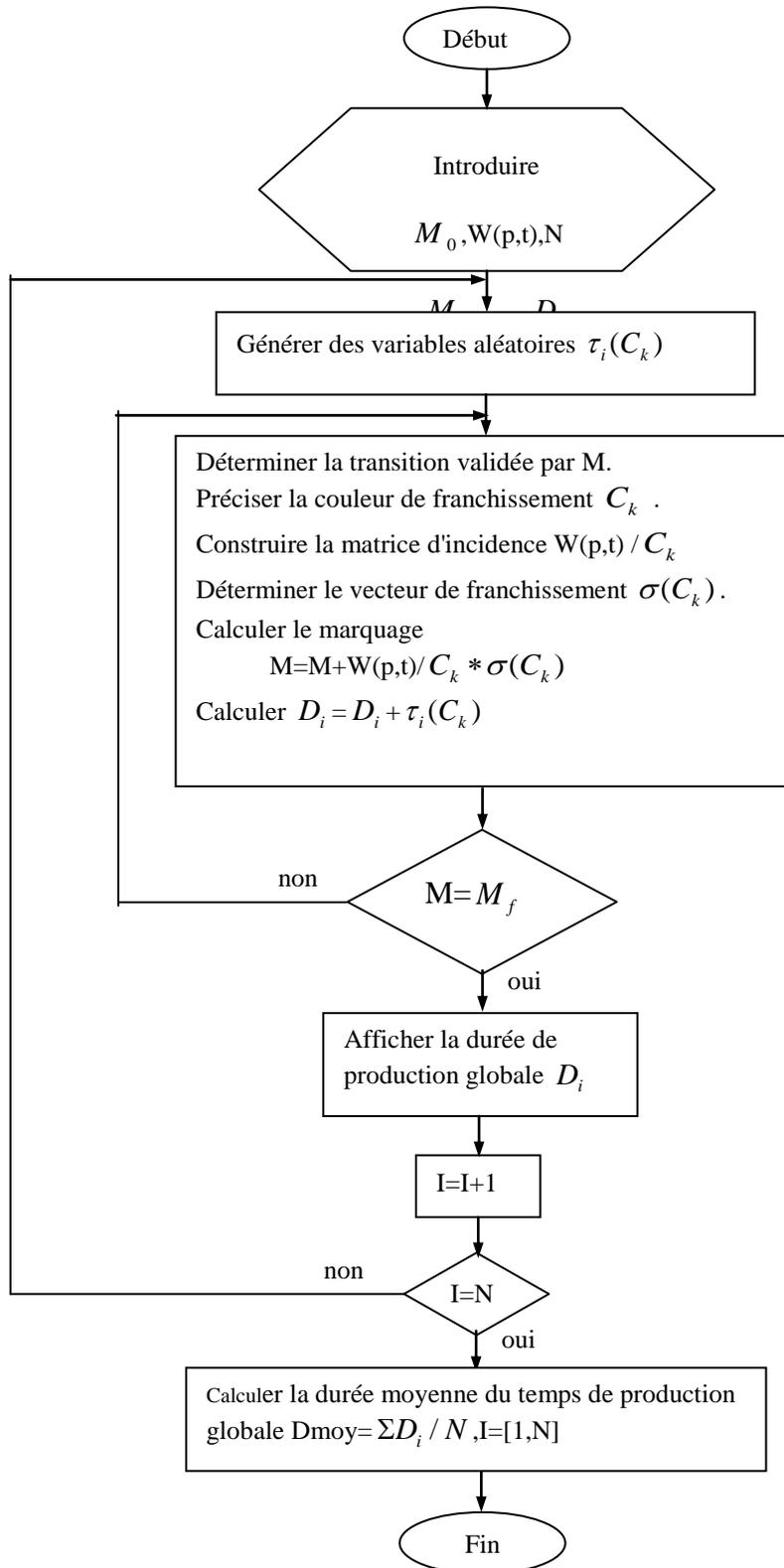
**Tableau 2: temps d'opération sur les 3 machine avec panne et réparation**

Le tableau suivant montre tout les opération de fabrication de produit dans le cas si il ya pas de panne et réparation et le cas si il ya une panne et réparation :

Opérations	Le temps de fabrication globale	
	Pas de panne	Panne et réparaion
T1 IN⇒M1	10	20 (2*10)
T2 M1⇒B1	1	1
T3 B1⇒M2	12	24(2*12)
TR4: M2⇒B2	1	1
T5:B2⇒M3	14	28(2*14)
T6:M3⇒B3	1	1
T7:M1→P8	0	2
T8 P8→P3	0	13
T9 M2⇒P9	0	2
T10 P9⇒P5	0	12
T11 M3⇒P10	0	2
T12 P10⇒P7	0	17
<b>Temps globale</b>	<b>39</b>	<b>123</b>

**Tableau 3 : le temps globales des opérations sur les 2 cas**

4.1 Algorithme de simulation :



4.2 Association des transitions a des événement :

On a pris notre gamme comme exemple :

$$W^- = \begin{bmatrix} & T1 & T2 & T3 & T4 & T5 & T6 & T7 & T8 & T9 & T10 & T11 & T12 \\ P1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P4 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ P5 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ P7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ P10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ B1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ B2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ B3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W^+ = \begin{bmatrix} & T1 & T2 & T3 & T4 & T5 & T6 & T7 & T8 & T9 & T10 & T11 & T12 \\ P1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P3 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P4 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P5 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ P6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ P8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ P10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ B1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ B2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ B3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W = W^+ - W^-$$

$$W = \begin{bmatrix} & T1 & T2 & T3 & T4 & T5 & T6 & T7 & T8 & T9 & T10 & T11 & T12 \\ P1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P2 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P3 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P4 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P5 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ P6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ P7 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ P9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ P10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ B1 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ B2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ B3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$M_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad D_0 = W * M_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad M_1 = M_0 + W * D_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

## 5 Simulation sur Matlab et GRIF :

### 5.1 Description de la plateforme Matlab : [23]

MATLAB est une plate-forme de programmation conçue spécifiquement pour les ingénieurs et les scientifiques afin d'analyser et de concevoir des systèmes et des produits qui transforment notre monde. Le cœur de MATLAB est le langage MATLAB, un langage matriciel permettant l'expression la plus naturelle des mathématiques computationnelles.

### 5.2 Gpensim : [24]

GPenSIM définit un langage de réseau de Petri pour la modélisation et la simulation de systèmes à événements discrets sur la plate-forme MATLAB. GPenSIM est développé par **Reggie Davidrajuh**. GPenSIM est également un simulateur avec lequel les modèles de réseaux de Petri peuvent être développés et simulés. En outre, GPenSIM peut également être utilisé en temps réel manette. Même si GPenSIM est un nouveau simulateur, il est utilisé par de nombreux chercheurs du monde entier. Récemment, une équipe de chercheurs australiens a choisi GPenSIM comme outil idéal pour la modélisation et la simulation de graphe marqué (un réseau de Petri classe), en raison de la flexibilité de GPenSIM à pouvoir contrôler le système via le modèle. Pour la même raison.

GPenSIM prend en charge de nombreuses extensions de réseaux de Petri, telles que les arcs inhibiteurs, la transition priorités, fonctions d'activation, extension de couleur. De plus, il offre une collection de fonctions d'analyse des performances. En raison de sa flexibilité, il est également facile à mettre en œuvre toute autre extension de réseau de Petri avec GPenSIM, pa

### 5.3 Description de la plateforme GRIF : [25]

GRIF 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

**5.3.1 GRIF est structuré en 3 packages**

- Le package *Booléen* comprend 7 modules.
- Le package *Markovien* comprenant le module Markov.
- Le package *Simulations* comprenant les modules Petri, BStock, Petro et Flex, et on a travaillé avec le module Petri qui permet la modélisation des grands systèmes industriels complexes .

**6 Simulation et Résultats :**

**6.1 Simulation sur Matlab :**

**6.1.1 Déroulement de la simulation**

**6.1.1.1 Exécution de programme :**

- **Sans panne et sans réparation :**

pour un seul cycle ( profilé brute jusqu’au profilé fini). Le programme affiche comment les jeton sont créés d’une place a une autre dépend le temps qui nous avons donner pour chaque transition pour être franchissable, et affiche aussi le temps d’opération de chaque jeton été créé et le temps globale d’opération et nous avons calculé tout les opération d’une a l’autre avec un compteur.

Ici le programme affiche le temps de fabrication de produit sans panne, donc :

Premièrement et sans la première opération il a pas trouver une panne sur la machine M1 donc il a pas franchie T7 alors il va franchie T2 et il va a 2eme opération. la 2em opération il a pas trouver une panne sur la machine M2 donc il a pas franchie T9 alors il va franchie T4 et il va a 3eme opération. Dans la 3eme opération il a pas trouver une panne sur la machine M3 donc il a pas franchie T11 alors il va franchie T6 et comme ca le produit finis sort

**Résultat de simulation sur la fenêtre commande :**

<pre>"Simulation of "cas sans panne": ===== State Diagram ===== ** Time: 0 ** State:0 (Initial State): p1 + p3 + p5 + p7 At start .... At time: 0, Enabled transitions are:  t1 At time: 0, Firing transitions are:  t1  ** Time: 10 ** State: 1 Fired Transition: t1 Current State: p2 + p5 + p7 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-1 .... At time: 10, Enabled transitions are:  t2  t7 At time: 10, Firing transitions are:  t2  ** Time: 11 ** State: 2 Fired Transition: t2 Current State: B1 + p3 + p5 + p7 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-2 .... At time: 11, Enabled transitions are:  t3 At time: 11, Firing transitions are:  t3</pre>	<pre>** Time: 23 ** State: 3 Fired Transition: t3 Current State: p3 + p4 + p7 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-3 .... At time: 23, Enabled transitions are:  t4 t9 At time: 23, Firing transitions are:  t4  ** Time: 24 ** State: 4 Fired Transition: t4 Current State: B2 + p3 + p5 + p7 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-4 .... At time: 24, Enabled transitions are:  t5 At time: 24, Firing transitions are:  t5</pre>	<pre>** Time: 38 ** State: 5 Fired Transition: t5 Current State: p3 + p5 + p6 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-5 .... At time: 38, Enabled transitions are:  t11 t6 At time: 38, Firing transitions are:  t6  ** Time: 39 ** State: 6 Fired Transition: t6 Current State: B3 + p3 + p5 + p7 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-6 .... At time: 39, Enabled transitions are: At time: 39, Firing transitions are:</pre>
--	---	--

La figure montre la création des jetons d'une place à une autre dépend le temps :

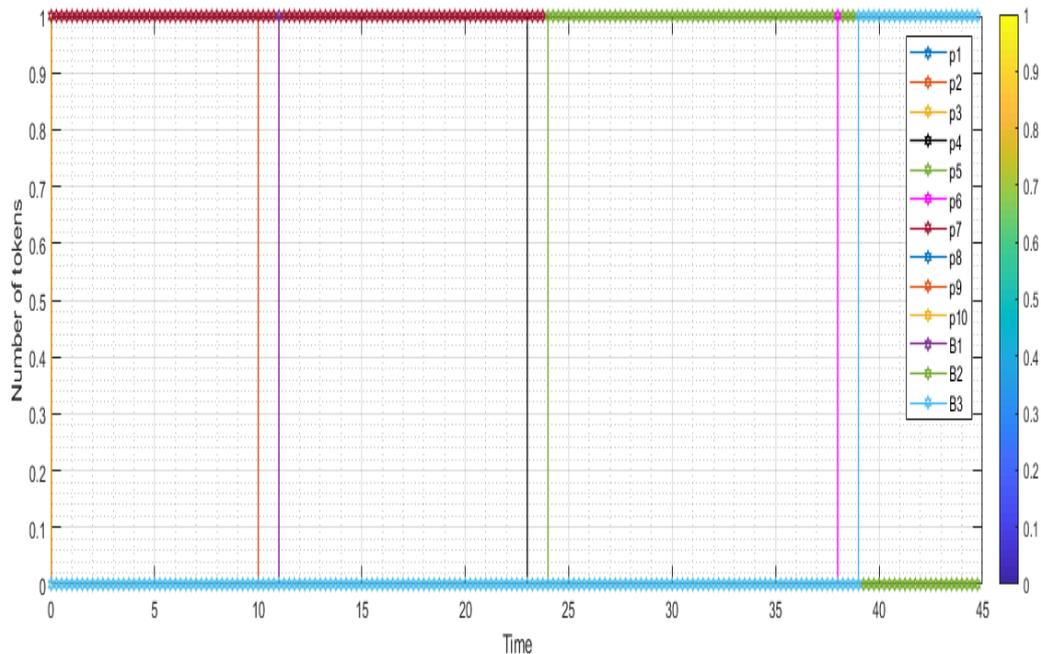


Figure 13 : placement de jeton dépend le temps

- **Cas avec panne et réparation :**

pour un seul cycle ( profilé brute jusqu'au profilé fini). Le programme affiche comment les jetons sont créés d'une place à une autre dépend le temps qui nous avons donné pour chaque transition pour être franchissable, et affiche aussi le temps d'opération de chaque jeton été créé et le temps globale d'opération et nous avons calculé tout les opération d'une à l'autre avec un compteur.

Mais ici le temps de fabrication de produit augmente car il ya des panne sur les 3 machine M1, M2, et M3.

Premièrement il tombe sur la machine M1 en panne, donc il va le puis il répète le processus à nouveau, et après ça il tombe sur la machine M2 en panne, donc il va le puis il répète le processus depuis la 2 deuxième opération et pas à nouveau, et enfin il tombe sur la machine M3 en panne, donc il va le puis il répète le processus depuis la 3eme opération et pas à nouveau jusqu'au le produit sortie et fini.

Le résultat de simulation sur la fenêtre commande :

<pre>Simulation of "cas avec panne": ===== State Diagram ===== ** Time: 0 ** State:0 (Initial State): p1 + p3 + p5 + p7 At start .... At time: 0, Enabled transitions are: t1 At time: 0, Firing transitions are: t1  ** Time: 10 ** State: 1 Fired Transition: t1 Current State: p2 + p5 + p7 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-1 .... At time: 10, Enabled transitions are: t2 t7 At time: 10, Firing transitions are: t7  ** Time: 12 ** State: 2 Fired Transition: t7 Current State: p1 + p5 + p7 + p8 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-2 .... At time: 12, Enabled transitions are: t8 At time: 12, Firing transitions are: t8  ** Time: 25 ** State: 3 Fired Transition: t8 Current State: p1 + p3 + p5 + p7 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-3 .... At time: 25, Enabled transitions are: t1 At time: 25, Firing transitions are: t1  ** Time: 35 ** State: 4 Fired Transition: t1 Current State: p2 + p5 + p7 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-4 .... At time: 35, Enabled transitions are: t2 t7 At time: 35, Firing transitions are: t2  ** Time: 36 ** State: 5 Fired Transition: t2 Current State: B1 + p3 + p5 + p7 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-5 .... At time: 36, Enabled transitions are: t3 At time: 36, Firing transitions are: t3</pre>	<pre>** Time: 48 ** State: 6 Fired Transition: t3 Current State: p3 + p4 + p7 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-6 .... At time: 48, Enabled transitions are: t4 t9 At time: 48, Firing transitions are: t9  ** Time: 50 ** State: 7 Fired Transition: t9 Current State: B1 + p3 + p7 + p9 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-7 .... At time: 50, Enabled transitions are: t10 At time: 50, Firing transitions are: t10  ** Time: 62 ** State: 8 Fired Transition: t10 Current State: B1 + p3 + p5 + p7 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-8 .... At time: 62, Enabled transitions are: t3 At time: 62, Firing transitions are: t3  ** Time: 74 ** State: 9 Fired Transition: t3 Current State: p3 + p4 + p7 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-9 .... At time: 74, Enabled transitions are: t4 t9 At time: 74, Firing transitions are: t4  ** Time: 75 ** State: 10 Fired Transition: t4 Current State: B2 + p3 + p5 + p7 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-10 .... At time: 75, Enabled transitions are: t5 At time: 75, Firing transitions are: t5</pre>	<pre>** Time: 89 ** State: 11 Fired Transition: t5 Current State: p3 + p5 + p6 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-11 .... At time: 89, Enabled transitions are: t11 t6 At time: 89, Firing transitions are: t11  ** Time: 91 ** State: 12 Fired Transition: t11 Current State: B2 + p10 + p3 + p5 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-12 .... At time: 91, Enabled transitions are: t12 At time: 91, Firing transitions are: t12  ** Time: 108 ** State: 13 Fired Transition: t12 Current State: B2 + p3 + p5 + p7 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-13 .... At time: 108, Enabled transitions are: t5 At time: 108, Firing transitions are: t5  ** Time: 122 ** State: 14 Fired Transition: t5 Current State: p3 + p5 + p6 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-14 .... At time: 122, Enabled transitions are: t11 t6 At time: 122, Firing transitions are: t6  ** Time: 123 ** State: 15 Fired Transition: t6 Current State: B3 + p3 + p5 + p7 Virtual tokens: (no tokens)  Right after new state-15 .... At time: 123, Enabled transitions are: At time: 123, Firing transitions are:</pre>
--	--	--

La figure monter la création des jeton d'une place a une autre dépend le temps en cas de panne et réparation :

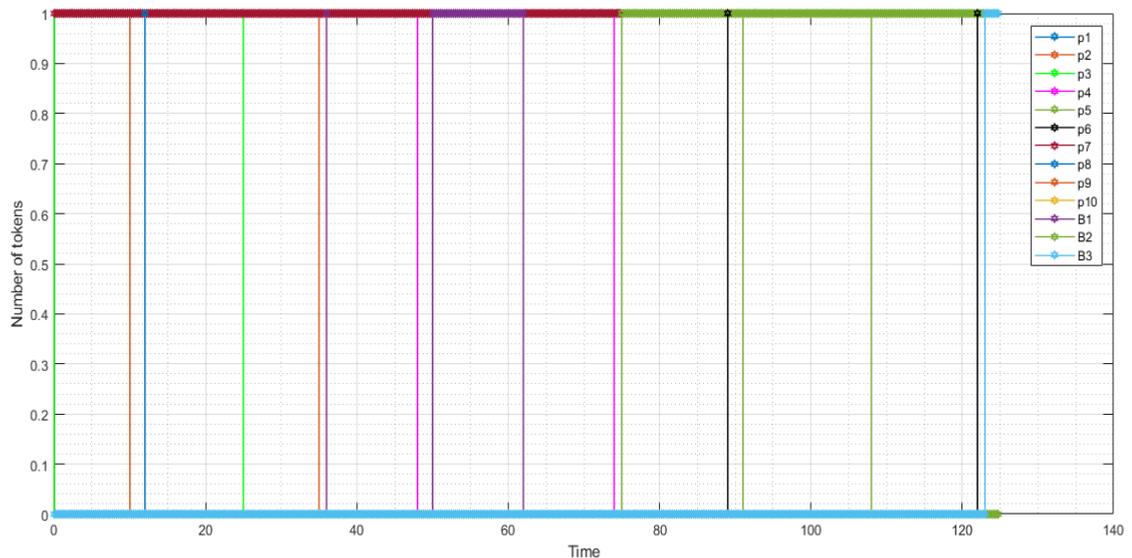


Figure 14 : placement des jeton dépend le temps

La figure suivante présente comment les opérations sont effectués dans le cas si il y a panne et réparation et le cas si il ya pas de panne et réparation et leur chemin

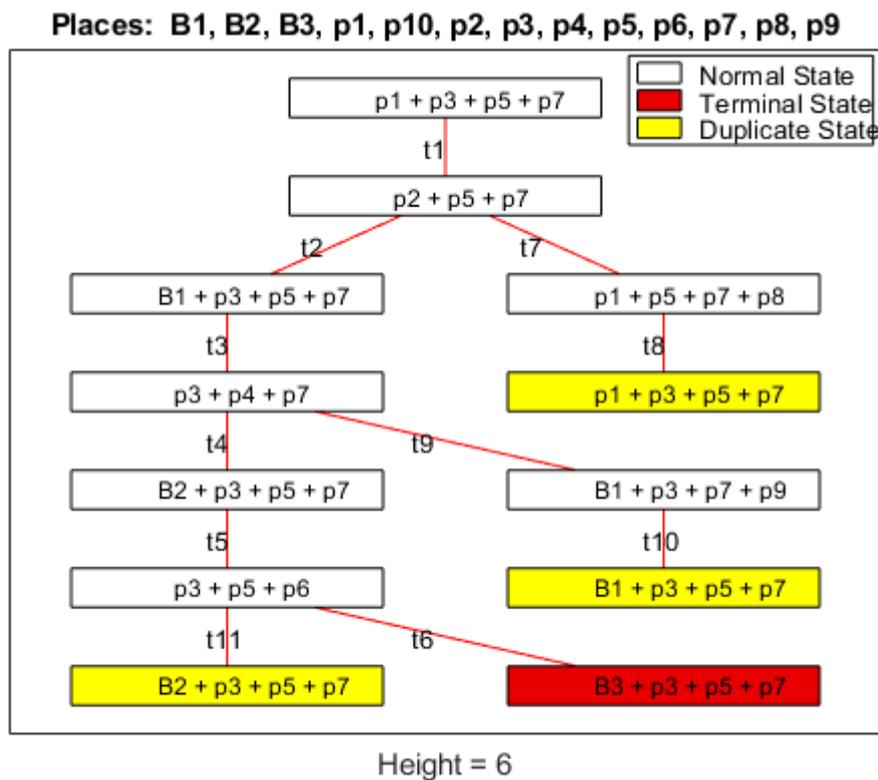


Figure 15 : le chemin des opération (avec et son panne et réparation)

6.2 Simulation avec la plateforme GRIF :

La figure présente la simulation sur GRIF qui nous donne une simulation simple avec les jetons graphiquement :

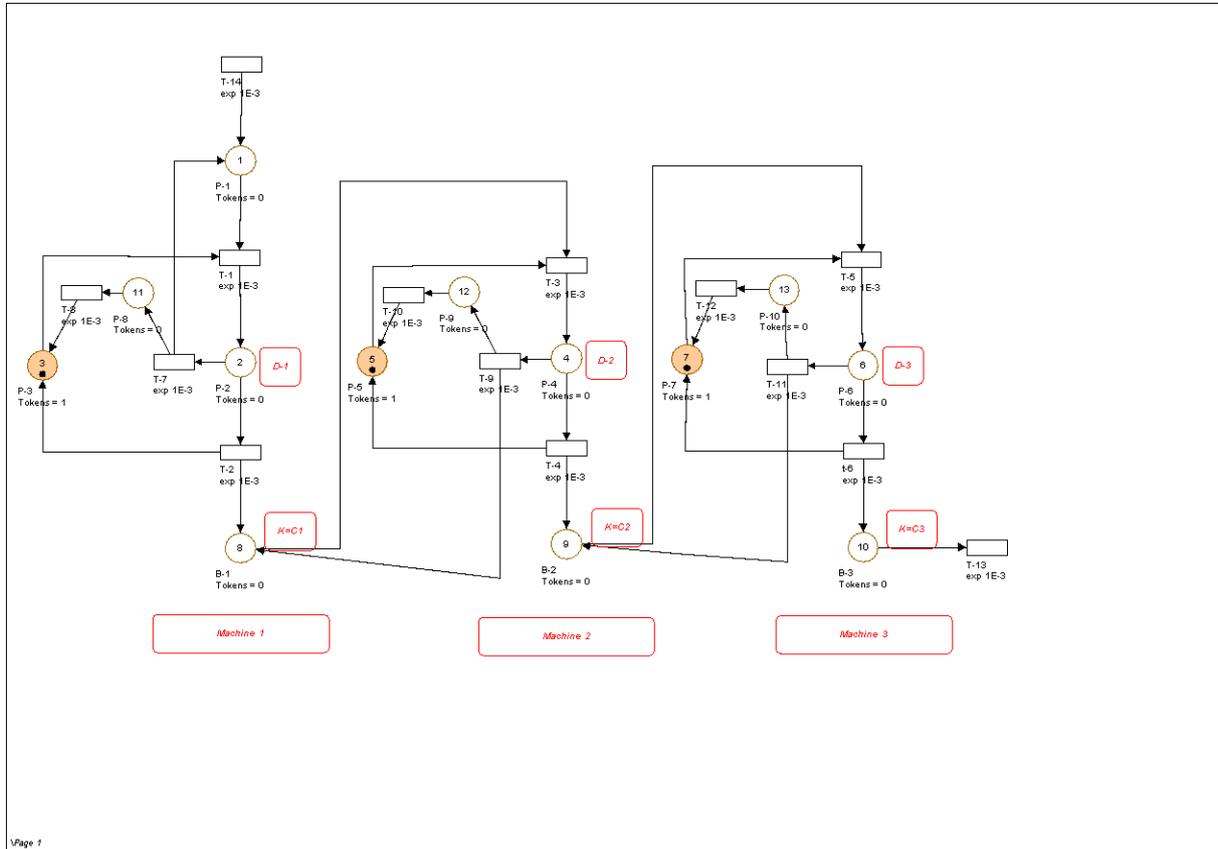


Figure16 : RdP modélisé sur GRIF

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons modélisé le système de production avec les réseaux de Petri sans et avec pannes et réparation.

De plus, nous avons simulé le système de production a laide de réseau de Petri T-temporisé sur la plateforme Matlab sans et avec pannes et réparation, et sur la base des résultats, nous avons pu établir le temps d'opération pour chaque opération de fabrication et aussi le temps global de fabrication de la pièce.

Ensuite, nous avons fais la simulation sur logiciel GRIF pour voir le déplacement des jetons de notre réseau de Petri

Donc nous avons proposé d'améliorer la gestion. En minimisant le nombre de pauses, et la maintenance de système de production peut être améliorée.

## ***Conclusion général :***

---

L'objectif des travaux présentés dans ce mémoire est de fournir un outil de modélisation d'un système de production dont ses opérations dépendent du temps, et ses actions nécessite un certains temps de réalisation. Cette modélisation peut être utilisée pour un large éventail de défis industriels.

Nous avons utilisé le réseau de Petri T-temporisé pour la modalisation du notre système de production. Ce dernier nous a aidé à gérer et à commander notre de production qui nécessite la notion temps.

Le réseau de Petri T-temporisé est un outil efficace pour l'évolution des performances d'un système de production.

Afin de pouvoir analyser l'évolution des performances de notre système de production, nous avons utilisé GPenSIM qui présente un outil de modélisation et de simulation des systèmes à événement discret a base des réseaux de Pétri, a plate-forme MATLAB.

De nombreuses extensions de réseau de Petri sont prises en charge par GPenSIM qui offre également une collection de fonctions d'analyse des performances.

De plus, notre modèle fait appel à la procédure de dépannage qui permet la maintenance de notre système de production, dans le cas où une ressource tombe en panne.

Donc le réseau de Petri est un outil moderne, puissant, et efficace pour modéliser et simuler des systèmes de production de divers degrés de complexité.

Voici les perspectives que nous avant suivre dans notre travail :

1. Une généralisation sur les système de production, et les différents outils de modélisation des système de production .
2. La modélisation un système de production à base des réseaux de Petri.
3. Un réseau de PetriT-temporisé est utilisé pour imiter notre système de production
4. A l'aide des réseaux de Petri, nous avons implanté une interface de modélisation sur Matlab.

---

*Références*

*Bibliographiques*

---

- [1]: Xiaojun ye « Modélisation et simulation des systèmes de production : une approche orientée-objets »
- [2]: George DRAGHICI, Nicolae BRINZEI, Ioana FILIPAS « La modélisation et la simulation en vue de la conduite des systèmes de production » university POLITEHNICA DIN TIMISOARA
- [3]: REDOUAN CHAHDI EL OUAZZANI « Modélisation et analyse des performances des systèmes de production utilisant des stocks tampons à capacités finies » Thèse doctorat la Faculté des études supérieures de l'Université Laval génie mécanique pour l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)
- [4]: N.belhamdi.« CONTRIBUTION A L'ORGANISATION DU SYSTEME DE PRODUCTION PAR LA MODELISATION ET SON EVALUATION »
- [5]: B. VALLESPER, G. DOUMEINGTS « LA METHODE DE GRAI » *Université Bordeaux I*
- [6]: Olivier Guibert «S.A.D.T System Analysis and Design Technic » 5 avril 2005 Université Bordeaux 1
- [7]: <https://www.cours-gratuit.com/cours-merise/debuter-avec-la-methode-de-conception-des-systemes-d-information-merise>
- [8]: <https://www.specialautom.net/automatisme/Grafcet.pdf>
- [10]: COLLART-DUTILLEUL Simon ; « Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en automatique et informatique » ; Université des Sciences et Technologies de Lille
- [11]: THESE DE DOCTORAT LMD ; ADJIM Sarra « Pilotage et Modélisation de Système de Production Manufacturière Par les Réseaux de Petri à Intervalles » ; Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –
- [12]: Cours par N.Bennis « Les Réseaux de Petri Théorie, propriétés et applications »
- [13] R. David • H. “Alia Discrete, Continuous, and Hybrid Petri Nets”
- [14]: Application de la méthode hybride GRASP pour optimiser la conduite d'une cellule de production flexible.
- [15]: Abdellah El Fallahi « Outils de modélisation et d'évaluation de performances » 2010-2016.
- [16]: [http://stockage.univ-valenciennes.fr/20060607TrentesauxPetri/\\_lfrFR/co/a62560.html](http://stockage.univ-valenciennes.fr/20060607TrentesauxPetri/_lfrFR/co/a62560.html)
- [17]: Mémoire de Master ; Asma ROubeche « modélisation et étude de performance d'une approche coopérative de gestion des ressources d'un réseaux sans fil » ; Université A. Mira de Béjaia
- [18]: [https://www.site.uottawa.ca/~nrahmani/CEG4566\\_H13/notes\\_cours/Annexe\\_1.pdf](https://www.site.uottawa.ca/~nrahmani/CEG4566_H13/notes_cours/Annexe_1.pdf)
- [19]: Tony Doat « Utilisation de modèles des systèmes à événements discrets pour l'amélioration de démonstrateurs 3D » Rapport de stage du Master 2 Recherche ; Université d'Angers 2007- 2008
- [20]: Simon hardy « MODÉLISATION ET SIMULATION DE PROCESSUS DE BIOLOGIE MOLÉCULAIRE BASÉES SUR LES RÉSEAUX DE PÉTRI »
- [21]: Yann Morère « Cours de réseau de Petri » Avril 2002
- [22]: RENE DAVID et HASSANE ALLA “On Hybrid Petri Nets Discrete Event Dynamic Systems: Theory and Applications 2001 Kluwer Academic Publishers, Boston. Manufactured in The Netherlands.

[23] : <https://www.mathworks.com/discovery/what-is-matlab.html>

[24] : Reggie Davidrajuh “GPenSIM General Purpose Petri Net Simulator Version 9.0”  
August 2014

[25] : <http://grif-workshop.fr>