

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA DE BÉJAIA
FACULTÉ DES SCIENCES EXACTES
DÉPARTEMENT DE RECHERCHE OPÉRATIONNELLE

MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER en Recherche Opérationnelle
Option : MMEPR

THEME

Évaluation des Performances de Processus du Chargement d'Huile à
l'Entreprise Cevital via les Réseaux de Petri Colorés

Présenté par :

M^{lle} **GUEDJALI Tinhinane**
M^{lle} **SALOUADJI Hadda**

Devant le jury composé de :

Présidente : Dr **Sonia AMROUN** M.C.B U.A.Mira Bejaia.
Promotrice : Dr **Nassima BERNINE** M.C.B U.A.Mira Bejaia.
Examinatrice : D^r **Sedda HAKMI** M.C.B U.A.Mira Bejaia.
Invité : M^f **Chikh ATMANE** Chef de département transport entreprise cevital.

Promotion 2022 — 2023

Remerciement

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir accordé la santé, le courage et la volonté pour accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à notre promotrice Madame Bernine.N. Nous la remercions pour son encadrement, sa patience et son dévouement.

Nous adressons des remerciements particuliers à notre encadrant au niveau de l'entreprise Cevital Mr A. Chikh et tout l'ensemble du personnel du bureau " Transport " pour leur bon accueil et leur disponibilité, ainsi que les services " stockage et distribution".

Nos remerciements vont aussi aux membres de jury pour avoir accepté de juger ce modeste travail.

Nos remerciements les plus chaleureux s'adressent à nos familles et surtout nos parents qui sont la source de cette réussite et qui nous ont soutenu et encourager pour aller au bout de ce travail.

Et enfin, merci à tout ceux qui par un sourire, un geste ou une parole nous ont encouragé à mener à bien ce projet.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- *Mes très chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études ;*
- *Mes sœurs (YOUSRA, THANINA, YASSMINE et DALIA) et mon frère (MOUHAND OULHADJ) pour leurs soutiens et encouragements*
- *Mes amis et particulièrement les plus proches, en témoignage des moments inoubliables,*
- *Toute ma famille.*

TINHINANE

Je dédie ce modeste travail à :

- *Mon très cher père Kassi, pour tous les conseils et pour toute la confiance qu'il a mise en moi et pour son dévouement pour mon bonheur.*
- *Ma cher mère Fatima, qui a toujours été présente pour moi, et qui sans cesse veille sur moi avec ses prières, pour ses grand sacrifices et toute l'affection qu'il me donne et pour son soutien*
- *Mes chères sœurs Kahina, Naouel, Nassira , sarah, Samia, Soria et leurs enfants.*
- *Mes chers frères Nassim, Taïb et Walid.*
- *Ma nièce Amira.*
- *Ma binôme Tinhinane pour son soutien morale et compréhension tout au long de ce Projet.*
- *Toute la promotion MMEPR chacun son nom.*

HADDA

Table des matières

1	Présentation de l'entreprise CEVITAL	13
1.1	Introduction	13
1.2	Présentation de l'entreprise	13
1.3	Étapes historiques de CEVITAL	14
1.4	Situation géographique	14
1.5	Missions de CEVITAL	15
1.6	Les activités de Cevital	15
1.7	Les objectifs	16
1.8	Les atouts	16
1.9	La structure et l'organisation de l'entreprise CEVITAL	16
1.9.1	Direction Suply chain	17
1.9.2	le département logistique	18
1.10	Service de conditionnement d'huile	19
1.11	La distribution des produits du complexe CEVITAL	20
1.11.1	Les unités de production	20
1.11.2	Les plateformes	20
1.11.3	Les CLR (Centres de Livraison Régionaux)	20
1.11.4	Les clients	21
1.11.5	La distribution des produits	21
1.12	Position de problème	22
1.13	Conclusion	22

2	Notions de base sur les réseaux de Pétri	23
2.1	Introduction	23
2.2	Définition d'un réseau de Petri	23
2.2.1	Structure d'un réseau de Petri	24
2.2.2	Réseau de Petri marqué	25
2.2.3	Notations matricielles	26
2.2.4	Équation caractéristique et Vecteur caractéristique	26
2.3	Interprétation d'un réseau de Petri	27
2.3.1	Dynamique des Réseaux de Petri	27
2.3.2	Évolution d'un réseau de Petri	27
2.3.2.1	Sensibilisation et franchissement des transitions	27
2.3.2.2	Séquence de franchissement	28
2.3.2.3	Marquage accessible	29
2.3.2.4	Ensemble des marquages accessibles	29
2.3.2.5	Graphe des marquages accessibles	29
2.4	Éléments de Modélisation des Réseaux de Petri	30
2.4.1	Le conflit	30
2.4.2	Le parallélisme	30
2.5	Propriétés des RdPs	31
2.5.1	Réseau borné	31
2.5.2	Vivacité et blocage	32
2.5.3	La réversibilité	33
2.5.4	Réinitiabilité et état d'accueil	33
2.6	Extension des RdP	33
2.6.1	Les réseaux de Petri étendus	33
2.6.2	RdP temporisés	34
2.6.2.1	Temporisation des places : les réseaux P-temporisés (P-Timed nets)	34
2.6.2.2	Temporisation des transitions : les réseaux T-temporisés (T-timed nets)	35

2.6.3 Les réseaux de Petri temporels	35
2.6.4 Réseaux de Petri stochastique (RdPS).	36
2.6.5 Réseaux de Petri stochastique généralisés (RdPSG).	37
2.6.6 Les réseaux de Petri colorés (RdPC)	37
2.7 Conclusion	38
3 Modélisation et simulation de processus du chargement	39
3.1 Introduction	39
3.2 Présentation du situation	39
3.3 Construction de modèle	40
3.4 Récolte des données	43
3.5 Identification des lois des taux d'entrée, de sortie et les durées de chargement des différents quai	46
3.5.1 Identification de la loi de taux des arrivées	46
3.5.2 Identification de la loi de taux d'entrée au quai 1	47
3.5.3 Identification de la loi de taux d'entrée au quai 2	47
3.5.4 Identification de la loi de taux d'entrée quai 3	48
3.5.5 Identification de la loi de taux d'entrée quai 4	49
3.5.6 Identification de la loi de taux d'entrée quai 5	50
3.5.7 Identification de la loi du temps de chargement quai 1	51
3.5.8 Identification de la loi du temps de chargement quai 2	52
3.5.9 Identification de la loi du temps de chargement au quai 3	53
3.5.10 Identification de la loi du temps de chargement au quai 4	54
3.5.11 Identification de la loi du temps de chargement au quai 5	55
3.5.12 Identification de la loi de taux des sorties	56
3.5.13 Identification de la loi d'arrivée d'huile au zone de stockage	57
3.6 Étude du modèle du réseau de Petri coloré	57
3.7 Résultats de la simulation	60
3.8 Conclusion	61
A Annexes	65

Annexes	65
A Le logiciel R	65
A.1 Pourquoi utiliser R?	65
A.2 L'utilisation de R	65
B CPN TOOLS	68
B.1 Définition (CPN TOOLS)	68
B.1.1 Présentation de l'interface	68
B.1.2 Palettes disponibles	70

Table des figures

1.1	Logo CEVITAL	13
1.2	Vue satellitaire du complexe CEVITAL.	15
1.3	Organigramme de l'entreprise CEVITAL.	17
1.4	Organigramme du direction Suply Chain.	18
1.5	L'organigramme de service de conditionnement d'huile	19
1.6	Le réseau de distribution envisagé par Cevital.	21
2.1	Exemple d'un RdP.	24
2.2	Structure d'un RdP	25
2.3	Exemple d'un RdP marqué	25
2.4	Franchissement d'une transition source	28
2.5	Franchissement d'une transition puits	28
2.6	Exemple de graphe de marquage accessible d'un RdP	29
2.7	Exemple d'un conflit	30
2.8	Exemple de parallélisme	31
2.9	Exemple d'un RdP non borné.	32
2.10	Représentation d'un arc inhibiteur	33
2.11	P-temporisation	35
2.12	T-temporisation	36
2.13	Représentation des transitions immédiates et temporisées.	37
3.1	Présentation de la situation	40
3.2	Modélisation de processus du chargement des camions	41

3.3	Distribution des lois ajustées des données des arrivées.	46
3.4	Distribution des lois ajustées des données d'entrée au quai 1.	47
3.5	Distribution des lois ajustées des données d'entrée au quai 2.	48
3.6	Distribution des lois ajustées des données d'entrée au quai 3.	49
3.7	Distribution des lois ajustées des données d'entrée au quai 4.	50
3.8	Distribution des lois ajustées des données d'entrée au quai 5.	51
3.9	Histogramme des durées de chargement au quai 1 avec les lois ajustées. .	52
3.10	Histogramme des durées de chargement au quai 2 avec les lois ajustées. .	53
3.11	Histogramme des durées de chargement au quai 3 avec les lois ajustées. .	54
3.12	Histogramme des durées de chargement au quai 4 avec les lois ajustées. .	55
3.13	Histogramme des durées de chargement au quai 5 avec les lois ajustées. .	56
3.14	Histogramme des sorties avec les lois ajustées	57
3.15	Le modèle proposé sur l'interface de simulateur	58
3.16	Rapport 1	59
3.17	Rapport 2	59
A.1	Illustration de l'interface graphique	66
A.2	résultats d'ajustement	68
A.3	L'interface de CPN Tools	69
A.4	la boîte à outils d'index	69
A.5	Palettes d'outils dans l'espace travail	69
A.6	toutes les palettes dans l'espace travail	70
A.7	Outils auxiliaires	70
A.8	Outils de création	71
A.9	Outils hiérarchie	71
A.10	Outils net	71
A.11	Outils de simulation	72
A.12	Outils d'espace d'état	72

Liste des tableaux

1.1	Production maximale des six lignes du conditionnement.	19
3.1	Nombre de camions arrivées	44
3.2	Les durées moyenne de chargement	45
3.3	Ajustement de la loi d'entrée d'un camion au CEVITAL pour un risque $\alpha = 0.05$	46
3.4	Ajustement de la loi d'entrée d'un camion au quai 1 pour un risque $\alpha = 0.05$	47
3.5	Ajustement de la loi d'entrée d'un camion au quai 2 pour un risque $\alpha = 0.05$	48
3.6	Ajustement de la loi d'entrée d'un camion au quai 3 pour un risque $\alpha = 0.05$	49
3.7	Ajustement de la loi d'entrée d'un camion au quai 4 pour un risque $\alpha = 0.05$	49
3.8	Ajustement de la loi d'entrée d'un camion au quai 5 pour un risque $\alpha = 0.05$	50
3.9	Ajustement de la loi de la durée chargement d'un camion au quai 1 pour un risque $\alpha = 0.05$	51
3.10	Ajustement de la loi de la durée chargement d'un camion au quai 2 pour un risque $\alpha = 0.05$	52
3.11	Ajustement de la loi de la durée chargement d'un camion au quai 3 pour un risque $\alpha = 0.05$	53
3.12	Ajustement de la loi de la durée chargement d'un camion au quai 4 pour un risque $\alpha = 0.05$	54

3.13 Ajustement de la loi de la durée chargement d'un camion au quai 5 pour un risque $\alpha = 0.05$	55
3.14 Ajustement de la loi d'entrée d'un camion au CEVITAL pour un risque $\alpha = 0.05$	56
3.15 nombre moyen de camions dans le système.	60
3.16 nombre moyen de camions chargés dans chaque quai.	60
3.17 temps moyen du chargement des camions dans les 5 quais	61

Introduction Générale

Dans un environnement économique en constante évolution, les entreprises sont confrontées à des défis considérables pour maintenir leur compétitivité. L'optimisation des processus opérationnels devient un impératif pour atteindre l'efficacité, réduire les coûts et satisfaire les exigences croissantes des clients. L'un des domaines clés où ces défis se posent est la gestion des processus de production. C'est dans ce contexte que l'entreprise Cevital se distingue, en cherchant à améliorer la performance de ses processus de chargement d'huile.

L'entreprise Cevital, un acteur de premier plan dans l'industrie agroalimentaire, occupe une place centrale dans notre étude. Fondée sur des valeurs d'innovation et d'excellence, Cevital a établi une réputation solide grâce à sa gamme de produits de haute qualité. Toutefois, l'entreprise fait face à des défis opérationnels complexes, notamment dans la gestion du chargement d'huile, qui impactent sa capacité à répondre aux attentes des consommateurs et à maintenir sa compétitivité.

Pour aborder ces défis de manière systématique et efficace, notre mémoire se penchera sur l'utilisation des réseaux de Pétri colorés, en combinaison avec les logiciels R pour l'analyse des données et CPN Tools pour la modélisation des processus. Ces outils de modélisation se révèlent particulièrement adaptés pour analyser les processus complexes tels que le chargement d'huile. En intégrant les concepts des réseaux de Pétri colorés à la réalité opérationnelle de Cevital, nous chercherons à offrir des solutions pratiques pour optimiser ces processus, réduire les inefficacités et renforcer la compétitivité de l'entreprise.

Notre travail a pour principal objectif de contribuer à la minimisation de Temps de séjour des camion au niveau de l'entreprise CEVITAL.

Ce travail est structuré comme suit :

- **Introduction générale** : présentation de l'idée générale du sujet à traiter.
- **Premier chapitre** : présentons du complexe CEVITAL.
- **Deuxième chapitre** : bref aperçu de certains éléments des réseaux de Petri.
- **Troisième chapitre** : choix du modèle de modélisation du processus de chargement des camions, suivi d'une évaluation de ses performances.
- **Conclusion**.

Présentation de l'entreprise CEVITAL

1.1 Introduction

Avec l'évolution de l'économie algérienne et son ouverture aux systèmes économiques de marché, de nouveaux projets d'entreprises ont émergé. Parmi ces entreprises, CEVITAL, une société par actions, s'est distinguée par sa taille et son volume de production sur le marché agroalimentaire en Algérie.

Dans ce chapitre, nous allons vous présenter l'organisme d'accueil, "**CEVITAL de Béjaia**" au sein duquel nous avons effectué le stage relatif au présent projet, ensuite nous ferons le point sur ses différentes unités, équipements et fonctionnement.

1.2 Présentation de l'entreprise



FIGURE 1.1 – Logo CEVITAL

Filiale du Groupe Cevital est créée en 1998, Cevital Agro-industrie est le leader du secteur agroalimentaire mais aussi le plus grand complexe privé en Algérie.

Cevital Agro-Industrie offre des produits de haute qualité aux consommateurs mais aussi aux industriels et ce grâce à ses prix compétitifs, son savoir-faire, la modernité de ses unités de production, le contrôle strict en ce qui concerne la qualité mais aussi et

surtout un réseau de distribution très développé. Elle couvre les besoins nationaux et a permis de faire passer l'Algérie du stade d'importateur à celui d'exportateur pour les huiles, les margarines et le sucre. Leader en Afrique et dans le bassin Méditerranéen dans l'industrie du sucre et de l'huile végétale, ses produits se vendent dans plusieurs pays, notamment en Europe, au Maghreb, au Moyen Orient et en Afrique de l'Ouest. Elle compte parmi ses clients des grands noms du domaine de l'agro-business ; citons : Coca-Cola, Kraft Food, Danone... [16].

1.3 Étapes historiques de CEVITAL

CEVITAL est un Groupe familial qui s'est bâti sur une histoire, un parcours et des valeurs qui ont fait sa réussite et sa renommée, Ci-après, quelques dates qui ont marqué son histoire :

- ▶ **1998** : Création de CEVITAL SPA (Société Par Action).
- ▶ **1999** : Entrée en production de la raffinerie d'huile et lancement de la 1^{ère} marque d'huile de table de haute qualité, 100% tournesol "FLEURIAL".
- ▶ **2001** : Entrée en production de la margarinerie et lancement de la 1^{ère} marque de margarine de table : "FLEURIAL".
- ▶ **2003** : Entrée en production de la raffinerie de sucre (sucre blanc cristallisé aux normes de l'Union Européenne); lancement de la margarine de feuilletage "La parisienne", pour les boulangeries pâtisseries.
- ▶ **Avril 2005** : L'acquisition des eaux minérales Lalla Khadîdja [7].

1.4 Situation géographique

Le complexe CEVITAL agro-industrie s'étend sur une superficie de $45000M^2$ (c'est le plus grand complexe privé en Algérie), il se situe au niveau du nouveau quai du port de Bejaia, à proximité de la route nationale RN 09 et RN 26; Sur un terrain à l'origine inconstructible qui a été récupéré et viabilisé avec la dernière technologie de consolidation des sols par le système de colonnes ballastées (337 km de colonnes ballastées de 18 M chacune ont été réalisées) ainsi qu'une partie à gagner sur la mer. L'entreprise a beaucoup profité de cette situation qui lui donne un avantage de proximité économique car se trouve proche du port et de l'aéroport [10].



FIGURE 1.2 – Vue satellitaire du complexe CEVITAL.

1.5 Missions de CEVITAL

La principale mission de l'entreprise est de développer la production d'huiles, de margarines et de sucre tout en garantissant une qualité optimale et un conditionnement approprié, le tout à des prix très compétitifs. Cette mission vise à assurer la satisfaction et la fidélisation des clients [14].

1.6 Les activités de Cevital

L'ensemble des activités de CEVITAL est concentré sur la production des huiles végétales et de margarine et se présentent comme suit :

- Raffinage d'huile.
- Conditionnement d'huile.
- Production de margarine.
- Fabrication d'emballage en P.E.T (Poly-Ethylène-Tétras).
- Raffinerie de sucre cristallisé et sucre liquide.
- Stockage céréales.
- Eau minérale et boissons.
- Traitement des déchets : Les déchets engendrés par les différentes opérations de productions et de raffinement sont traités au niveau du complexe qui compte une station d'épuration des eaux usées [12].

1.7 Les objectifs

- L'extension de ses produits sur tout le territoire national.
- L'implantation des graines oléagineuses pour l'extraction directe des huiles brutes.
- L'optimisation de ses offres d'emploi sur le marché du travail.
- L'encouragement des agricultures par des aides financières pour la production locale des graines oléagineuses.
- La modernisation de ses équipements industriels et de ses modes de gestion de sa production.
- Le positionnement de ses produits sur le marché étranger par leurs exportations [17].

1.8 Les atouts

Les facteurs clés de succès du complexe CEVITAL sont principalement dus aux éléments suivants :

- La capacité à manager des projets dans la production et la distribution de grandes envergures.
- La maîtrise de la technologie. En effet, les unités industrielles de CEVITAL utilisent les dernières innovations en matière d'automatisation des processus.
- La jeunesse des salariés. En effet, la moyenne d'âge du personnel est de 35 ans. Par ailleurs, l'encadrement est à fort potentiel pour assurer une gestion efficace de l'entreprise.
- Le choix du site. L'avantage de la localisation de CEVITAL est un facteur clé de succès, car il représente un avantage compétitif de taille sur le plan logistique des matières importées et des produits finis exportés.
- La force de négociation. La taille de l'entreprise due aux parts de marchés investis offre à CEVITAL une force de négociation comparativement aux entreprises évoluant dans les mêmes secteurs d'activité.
- La présence d'un réseau de distribution couvrant l'ensemble du territoire national.
- La satisfaction du client est le premier but de CEVITAL [17].

1.9 La structure et l'organisation de l'entreprise CEVITAL

Le schéma organisationnel de la direction générale de CEVITAL comprend les directions suivantes :

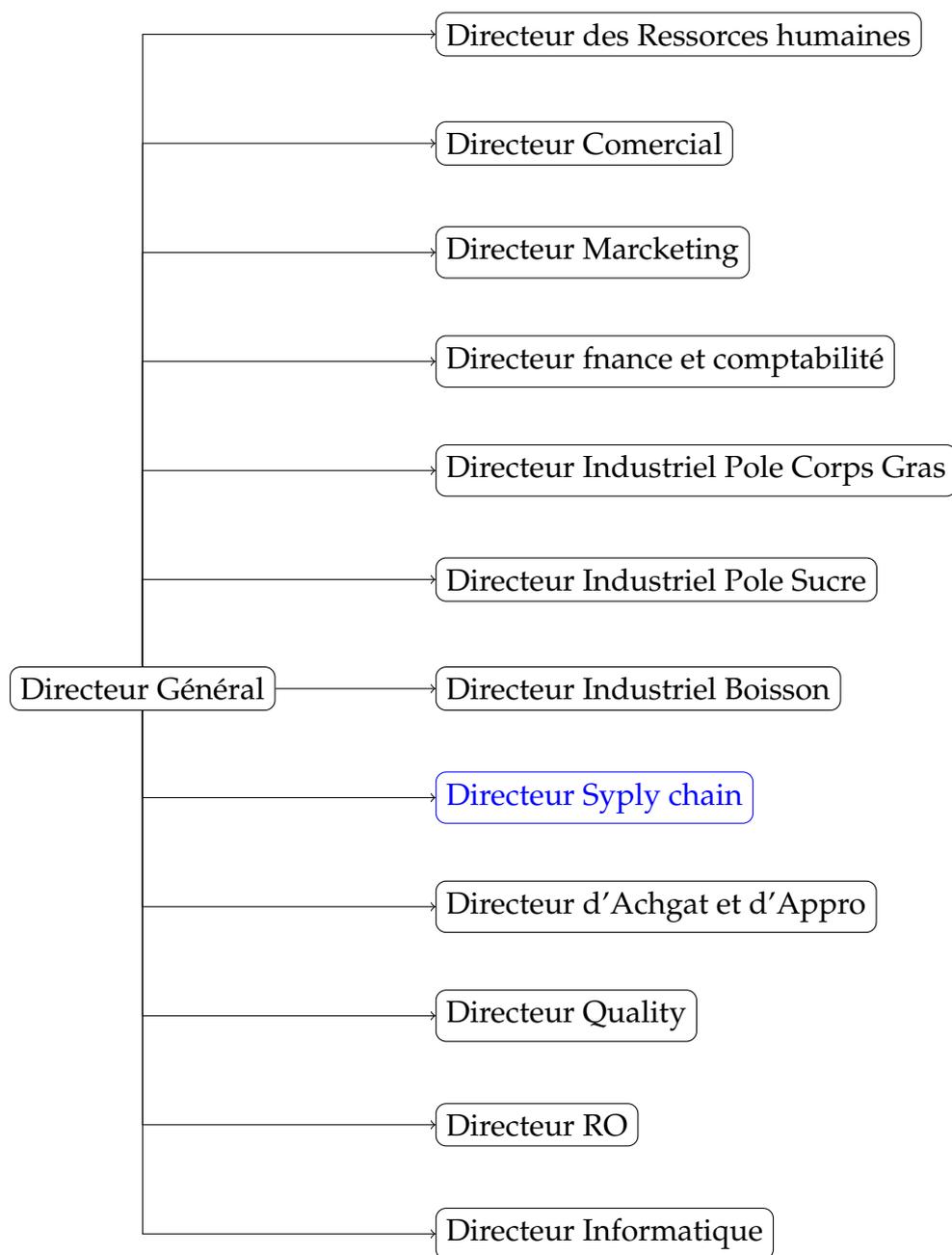


FIGURE 1.3 – Organigramme de l'entreprise CEVITAL.

1.9.1 Direction Supply chain

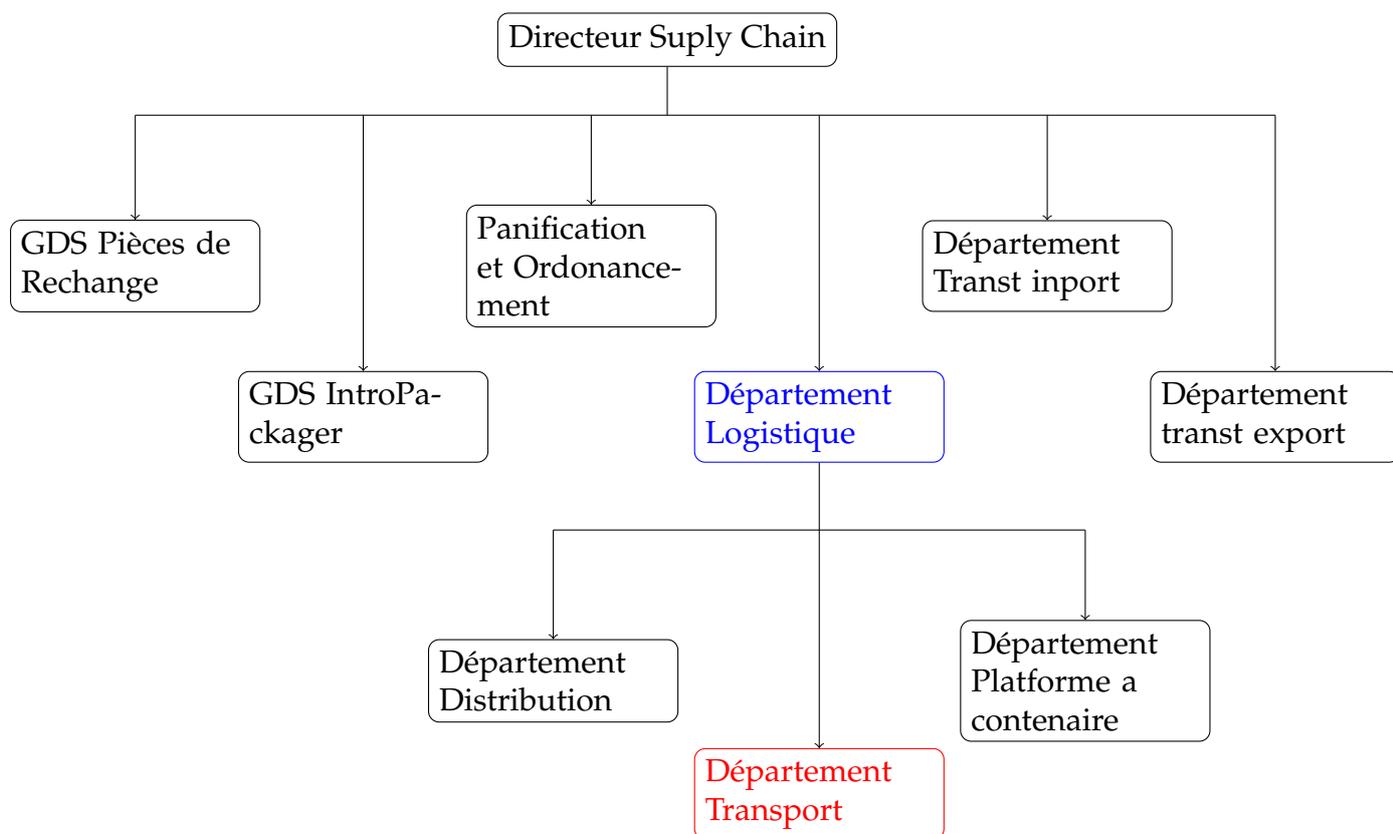


FIGURE 1.4 – Organigramme du direction Supply Chain.

1.9.2 le département logistique

Il expédie des produits finis (sucre, huile, margarine, eau minérale ...), qui consiste à charger les camions et livrer les clients. Les commandes sont acheminées sur les différents sites et dépôts logistiques, qui transmettent directement à l'aide d'un logiciel au PLF concerné qui vérifie la disponibilité du produit dans les stocks.

Dans le cas où la marchandise n'est pas disponible, le service planification ordonne l'envoi de la marchandise au lieu adéquat ou elle assure et gère le transport de tous les produits finis, que ce soit en moyens propres (camions de CEVITAL) ou affrétés au moyen de transport des clients.

Le département logistique est composé de trois sous-départements (**distribution, plateforme et contenaire et Transport**) qui suivent leur activité selon la planification.

1.10 Service de conditionnement d'huile

Voici l'organigramme de la direction de conditionnement d'huile de CEVITAL, comprenant plusieurs services [8] :

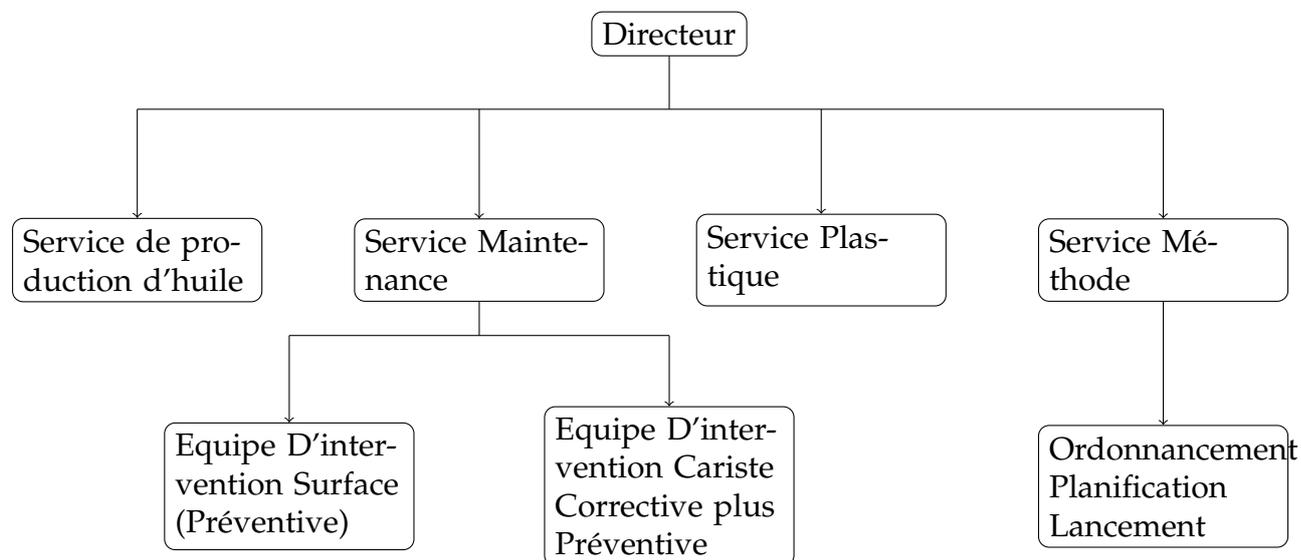


FIGURE 1.5 – L'organigramme de service de conditionnement d'huile

Les différentes lignes de conditionnement d'huile

Voici le tableau indiquant la capacité de production moyenne par heure pour chaque ligne de l'unité de conditionnement d'huile de Cevital [8] :

Ligne de production	La production/heure
Bouteilles de 5 litres A	5000
Bouteilles de 5 litres B	9000
Bouteilles de 4-5 litres	3000
Bouteilles de 2 litres	11000
Bouteilles de 1.8 litres	12000
Bouteilles de 1 litres	12000

TABLE 1.1 – Production maximale des six lignes du conditionnement.

1.11 La distribution des produits du complexe CEVITAL

1.11.1 Les unités de production

Voici les trois unités de production chacune localisée dans un endroit différent :

- **Bejaia usine**, située au port de Béjaia : unité de production et de conditionnement de sucre, de margarine et de différentes catégories d'huile.
- **Cojek usine**, située à El Kseur (Wilaya de Béjaia) : unité de production des boissons fruitées et des conserves.
- **LLK usine**, située à Tizi-Ouzou : unité de production et de conditionnement des eaux minérales (plates, gazeuses et sodas) [22].

1.11.2 Les plateformes

Cevital exploite trois plateformes de stockage externes exclusives :

- Une au centre, qui est celle de **Bouira** dont sa capacité de stockage est de 50000 palettes (dont 9000 palettes des produits agroalimentaires).
- Une autre à l'ouest, celle de **HASSI AMER** à Oran, qui a une capacité de stockage de 25000 palettes (dont 12000 palettes des produits agroalimentaires).
- La dernière plateforme qui se trouve à l'est **El kharoub** avec une capacité de stockage de 4000 emplacements. Le choix de ces plateformes n'est pas venu au hasard, mais après une étude approfondie.

La preuve est le positionnement de ces plateformes (Est, Centre, Ouest), qui permet d'alimenter la plupart des marchés du pays [22].

1.11.3 Les CLR (Centres de Livraison Régionaux)

- Les CLR font partie des nouvelles stratégies adaptées par CEVITAL en 2014, dans le but de réduire la pression sur le complexe, de rapprocher beaucoup plus la marchandise au client et aussi pour tenir sa place sur le marché en faisant face à la concurrence.
- CEVITAL dispose de 18 CLR répartis comme suit :
 - 7 CLR reliés à la plateforme d'Oran, qui sont : Sidi-Bel-Abbas (22), Oran (31), Relizane (48), Mostaganem (27), Tlemcen (13), Tiaret (14) et Mascara (29).
 - 6 CLR reliés à la plateforme de Bouira, qui sont : Alger (16), Blida (09), Boumerdès (35), Tizi-Ouzou (15), Bejaia (06) et Médéa (26).
 - 5 CLR reliés à la plateforme de Constantine, qui sont : Batna (05), Constantine (25), Sétif (19), Oum El Bouaghi (04) et Annaba (23).
- Au sein du service logistique, on trouve cinq correspondants CLR qui sont chargés du suivi de tous les PLF existant sur le territoire national [22].

1.11.4 les clients

De grands clients, dont les grossistes, les représentants, les industriels, qui sont dispersés sur tout le territoire national. Il s'agit de :

- 26 clients qui s'approvisionnent uniquement des CLR (clients-CLR).
- 26 clients qui s'approvisionnent uniquement des unités de production (clients hors-CLR) [22].

1.11.5 La distribution des produits

Voici la configuration du plan de transport des marchandises adopté par Cevital :

- Le transport de la marchandise depuis les 3 unités de production jusqu'aux 3 plateformes et des plateformes aux CLR est assuré par Cevital.
- Le coût de transport des produits depuis les CLR ou les unités de production jusqu'aux clients est à la charge des clients eux-mêmes.
- Les clients-CLR s'approvisionnent des CLR et les clients hors-CLR s'approvisionnent des 3 unités de production.

Nous illustrons dans la figure suivante le réseau de distribution envisagé par l'entreprise Cevital : [22]

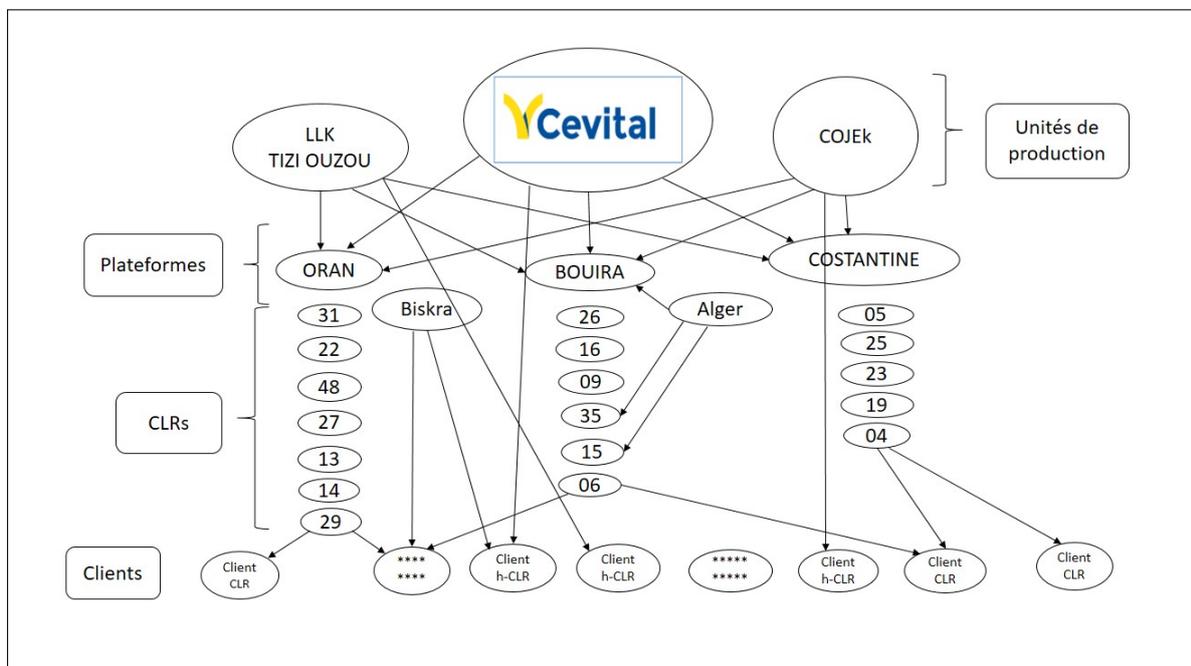


FIGURE 1.6 – Le réseau de distribution envisagé par Cevital.

1.12 Position de problème

Cevital est confrontée à des défis en ce qui concerne l'efficacité de son chargement des camions. Les délais de chargement excessifs entraînent des retards de livraison, une utilisation inefficace des ressources, des coûts supplémentaires et une insatisfaction des clients.

Réduire les temps de chargement des camions dans les 5 quais de chargement d'huile revêt une importance stratégique pour Cevital. Cela permettrait d'améliorer la productivité, d'optimiser les flux de marchandises, de réduire les coûts opérationnels et d'augmenter la satisfaction des clients. Cependant, minimiser ces temps de chargement est une tâche complexe qui nécessite une analyse approfondie des processus existants, des contraintes spécifiques de l'entreprise et des opportunités d'amélioration.

L'objectif ultime de cette recherche est de fournir des recommandations pratiques et adaptées à Cevital afin de réduire de manière significative les temps de chargement d'huile, d'améliorer l'efficacité des opérations logistiques et de renforcer la compétitivité de l'entreprise sur le marché. En mettant en œuvre ces recommandations, Cevital pourra optimiser ses activités de chargement et satisfaire ses clients.

1.13 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit l'entreprise CEVITAL en fournissant des informations générales sur ses orientations, ses objectifs et ses activités essentielles.

Dans le prochain chapitre, nous aborderons les concepts clés nécessaires à notre étude.

Notions de base sur les réseaux de Pétri

2.1 Introduction

A la différence des autres formalismes de modélisation, notamment les files d'attente et les chaînes de Markov, les RdP semblent bien appropriés pour décrire les systèmes dans lesquels interviennent les problèmes de synchronisation, de partage de ressources et de parallélisme.

Dans ce chapitre, nous allons initier à un outil de modélisation très puissant et très répandu notamment dans le monde de la recherche et du développement : **RdP (Réseaux de Petri)**. Cet outil permet essentiellement la modélisation des systèmes quelque soit leurs domaines d'application (Informatique, Télécommunication, Production, ...).

Nous présenterons dans un premier temps quelques définitions et formalismes concernant cet outil. Ensuite nous discuterons de quelques propriétés très utiles dans l'analyse des RdP et des techniques de simplification permettant de les dégager facilement. Nous présenterons également quelques structures de base fréquemment utilisées notamment dans les systèmes de production. A la fin de chapitre, on serra en mesure de modéliser le fonctionnement d'un système à l'aide d'un RdP et de déterminer ses propriétés.

2.2 Définition d'un réseau de Petri

Un réseau de Petri est un graphe biparti orienté, composé de deux types de nœuds :

Les places : représentées par des cercles, une place correspond à une variable d'état de système.

Les transitions : représentées par des rectangles ou des traits, une transition correspond à un évènement ou une action.

Les places et les transitions sont reliées par des arcs orientés. Chaque place contient un nombre entier $n \geq 0$ de jetons [19].

2.2.1 Structure d'un réseau de Petri

[2] Une structure de RdP non marqué est donnée par un quadruplet :

$$R = (P, T, Pré, Post).$$

Tels que :

- $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$ est un ensemble fini de places ;
- $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_m\}$ est un ensemble fini de transitions ;
- $Pré : P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ est une application d'incidence avant (places précédentes), définit par :

$$Pré = (pré_{i,j})_{i \in [1 \dots n], j \in [1 \dots m]} \quad \text{où} \quad pré_{i,j} = W^- = (p_i, t_j).$$

- $Post : P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ est une application d'incidence arrière (places suivantes), définit par :

$$Post = (post_{i,j})_{i \in [1 \dots n], j \in [1 \dots m]} \quad \text{où} \quad post_{i,j} = W^+ = (t_j, p_i).$$

- \mathbb{N} : est l'ensemble des entiers naturels.

On note par W la matrice d'incidence du réseau de Petri qui est définie par :

$$W = Post - Pré. \tag{2.1}$$

[25]

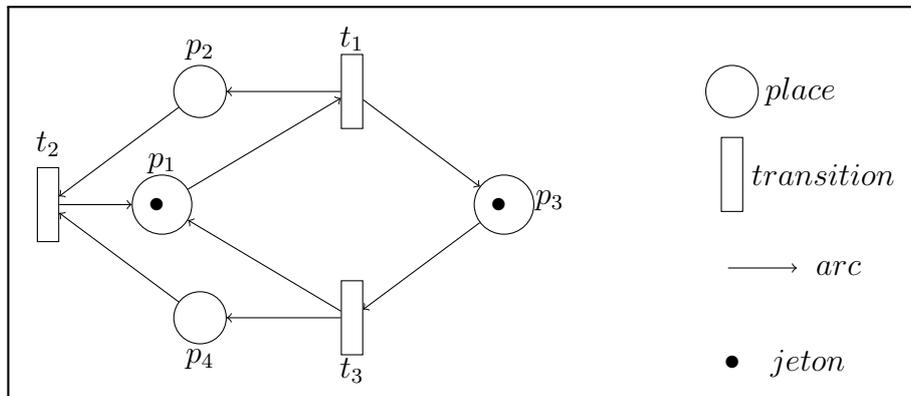


FIGURE 2.1 – Exemple d'un RdP.

Remarque 2.2.1. Comme dans tout graphe biparti, un arc ne relie jamais deux sommets de la même famille, comme le montre la figure ci-dessous. C'est aussi pareil pour les transitions [19].

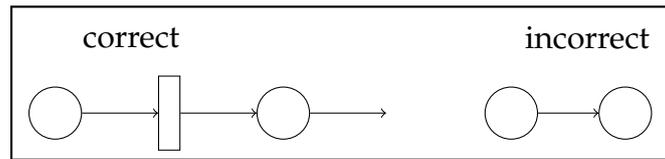


FIGURE 2.2 – Structure d'un RdP

Si un arc n'a pas de poids associé (appelé aussi valuation), c'est que ce poids vaut 1, sinon l'arc est biffé et une valuation lui est attribuée [2].

Définition 2.2.1. (Matrice d'incidence)

La matrice d'incidence d'un RdP notée W , traduit le coût global du franchissement d'une transition pour chaque place [2].

2.2.2 Réseau de Petri marqué

Un marquage M_j d'un RdP est une application, $M_j : P \rightarrow \mathbb{N}$, qui associe à chaque place $p \in P$ du RdP un marquage $M_j(p)$ qui est le nombre de jetons dans cette place.

Le couple $N = (R, M_0)$ est dit **RdP marqué**. où : [25]

- R est un réseau de Petri.
- M_0 est le marquage initial qui est une application définie par :

$$\begin{cases} M_0 : P \rightarrow \mathbb{N} \\ P = M_0(p) \end{cases}$$

[19]

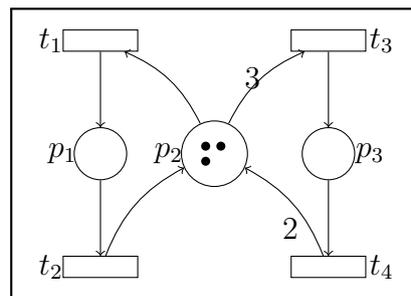


FIGURE 2.3 – Exemple d'un RdP marqué

La figure 2.3 représente un RdP marqué défini par ses places $P = \{p_1, p_2, p_3\}$ et ses transitions $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$ ainsi que les arcs qui les relient.

Le marquage M du réseau illustré dans la figure 2.3 est défini par le vecteur :

$$M = (M(p_1); M(p_2); M(p_3)) = (0; 3; 0)$$

Remarque 2.2.2. [19]

Un marquage peut être représenté sous forme d'un vecteur colonne. Dans l'exemple précédent on aura :

$$M = [M(p_1); M(p_2); M(p_3)]^T = \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix}$$

2.2.3 Notations matricielles

Les fonctions *Pré*, *Post* et *W*, peuvent être présentées par des matrices dont le nombre de lignes est égal au nombre de places et le nombre de colonnes est égal au nombre de transitions [19].

De l'exemple de la figure 2.3 on peut illustrer les matrices suivantes :

$$W^- = \begin{matrix} & \begin{matrix} t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad W^+ = \begin{matrix} & \begin{matrix} t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad W = W^+ - W^- = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & -3 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

2.2.4 Équation caractéristique et Vecteur caractéristique

Le vecteur caractéristique *S* de la séquence de franchissement σ est un vecteur d'entier indexé par les transitions. La composante relative à la transition *t* représente le nombre d'occurrences de *t* dans σ .

Soit *S* le vecteur caractéristique correspondant à la séquence de franchissement σ , alors *M'* peut se traduire directement de *M* par application de l'équation caractéristique suivante [21] :

$$M' = M + W * S \tag{2.2}$$

Exemple 2.2.1. Si on considère le RdP de la figure 2.3 et sa matrice d'incidence calculé dans la section 2.2.3. Le franchissement de la transition t_3 puis la transition t_4 , conduit au marquage : $M_1 = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 \end{bmatrix}$ peut être obtenu algébriquement par la relation 2.2 :

Dans ce cas, $\sigma = \langle t_3, t_4 \rangle$ d'où $\begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix}$

$$M_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & -3 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

2.3 Interprétation d'un réseau de Petri

Interpréter un réseau de Petri, c'est d'abord donner un sens concret à un modèle mathématique en associant des places, des transitions et des jetons à des entités existantes.

2.3.1 Dynamique des Réseaux de Petri

La dynamique d'un RdP correspond à l'évaluation de son marquage au cours du temps (évolution de l'état du système). Il se traduit par un déplacement des jetons, ce qui s'interprète comme la consommation/ production de ressources déclenchées par des événements, ou des actions [15].

Franchissement d'une transition

Règle de franchissement

Le franchissement d'une transition d'un RdP s'effectue lorsque toutes les places en amont de cette transition contiennent au moins un jeton, la transition est validée peut être franchie. Les marques sont alors enlevées à des places en amont et sont déposées dans les places en aval de la transition [15].

2.3.2 Évolution d'un réseau de Petri

L'évolution du marquage par franchissement des transitions dans un RdP traduit l'évolution du système modélisé dans ces différents états après l'occurrence de certains événements.

Proposition 2.3.1. Chaque place d'un réseau de Petri peut avoir deux états : elle est marquée ou non marquée.

2.3.2.1 Sensibilisation et franchissement des transitions

Une transition t est dite sensibilisée (franchissable, tirable, activée, validée) pour un marquage M si et seulement si :

$$\forall p \in P : M(p) \geq \text{Pré}(p, t); \text{ et on note } M(t > . \quad (2.3)$$

Si t est franchissable pour le marquage M , le franchissement de t donne le nouveau marquage M' tel que :

$$\forall p \in P : M'(p) = M(p) - \text{Pré}(p, t) + \text{Post}(p, t); \text{ et on note } M(t > M'. \quad (2.4)$$

[23]

Remarque 2.3.1. Lorsqu'une transition t_j est sensibilisée, cela n'implique pas qu'elle sera immédiatement franchie, cela n'est qu'une possibilité.

Définition 2.3.1. [Franchissement d'une transition source]

Une transition source est une transition qui ne comporte aucune place d'entrée, c'est une transition toujours franchissable et le franchissement a lieu lorsque l'événement associé se produit [19].

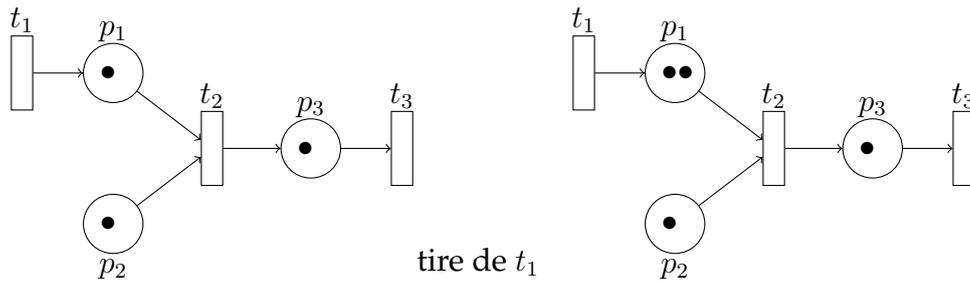


FIGURE 2.4 – Franchissement d'une transition source

Définition 2.3.2. [Franchissement d'une transition puits]

Une transition puits est une transition qui ne comporte aucune place de sortie, le franchissement d'une transition puits enlève des jetons de toutes les places d'entrée de la transition [19].

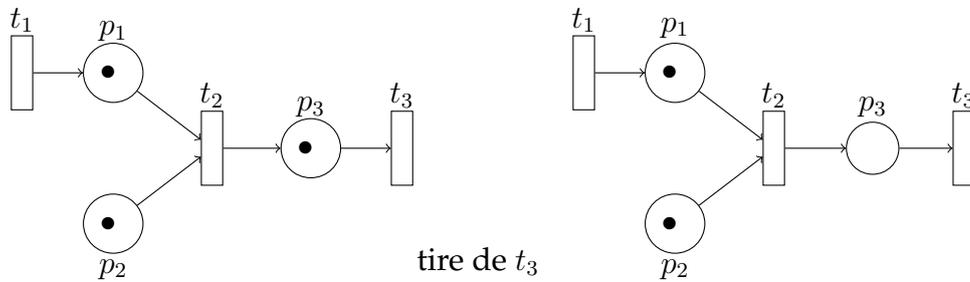


FIGURE 2.5 – Franchissement d'une transition puits

2.3.2.2 Séquence de franchissement

- Soit (R, M_0) un RdP marqué.
- $\sigma = t_1, t_2, \dots, t_m \in T^*$ une séquence de transitions.
- La séquence σ est franchissable depuis M , si et seulement si, il existe des marquages M_1, M_2, \dots, M_n , tels que :

$$M(t_1 > M_1(t_2 > \dots M_{n-1}(t_n > M_n. \tag{2.5}$$

Avec T^* est un sous ensemble de T constitué des transitions qui forment la séquence de franchissement. Dans ce cas, le tir ou le franchissement conduit au marquage M_n , on note alors $M(\sigma > M_n)$. [2]

2.3.2.3 Marquage accessible

Soit (R, M_0) un RdP marqué. Un marquage M est accessible si et seulement s'il existe une séquence de franchissement $\sigma \in T^*$, telle que $M_0(\sigma > M)$ [23].

2.3.2.4 Ensemble des marquages accessibles

Soit (R, M_0) un RdP. L'ensemble des marquages accessibles ou ensemble d'accessibilité de ce réseau est noté $A(R, M_0)$ ou, A est l'ensemble des marquages atteints par une séquence de franchissement :

$$A(R, M_0) = [M], \text{ tel que } \exists \sigma \in T^* : M_0(\sigma > M) \quad (2.6)$$

[23]

2.3.2.5 Graphe des marquages accessibles

Le graphe des marquages accessible (graphe d'accessibilité) est un graphe noté $G(R, M_0)$ dont les nœuds correspondent à un marquage du RdP, et les arcs étiquetés par les noms des transitions correspondent aux franchissement de transitions [9].

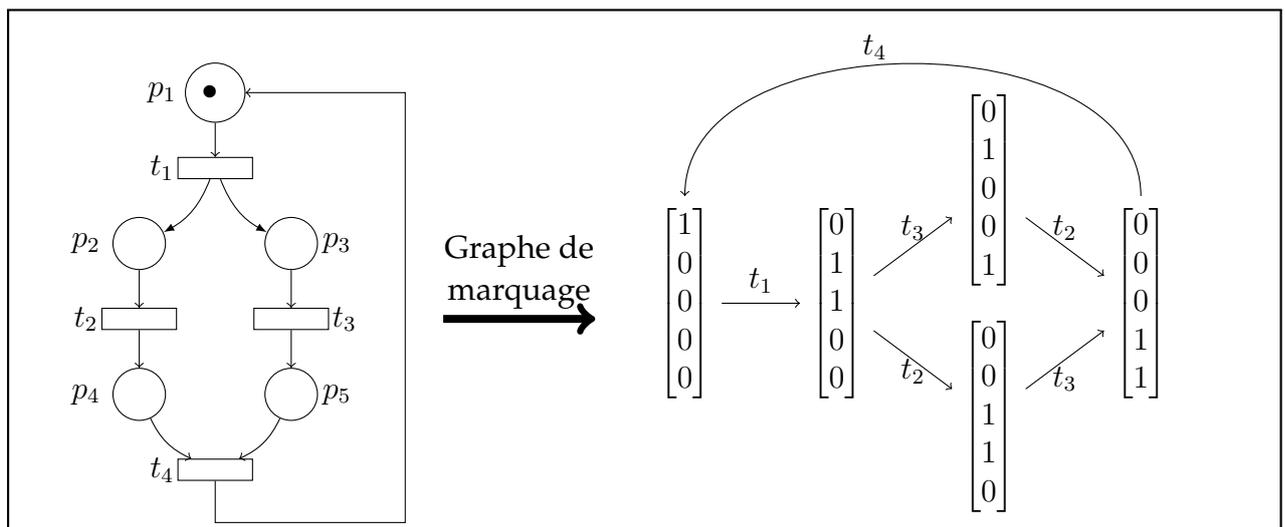


FIGURE 2.6 – Exemple de graphe de marquage accessible d'un RdP

2.4 Éléments de Modélisation des Réseaux de Petri

L'avantage des RdP réside dans leur capacité à modéliser un grand nombre de comportements dans les systèmes complexes. Parmi ces comportements, nous trouvons le parallélisme, la synchronisation, le partage de ressources, les conflits, ··· etc [?].

2.4.1 Le conflit

Le conflit est l'existence d'une place qui a au moins deux transitions de sortie. La notion de conflit modélise un choix ou une décision, elle est définie comme suit :

$$[p_i; t_1, t_2, \dots, t_n] \quad (2.7)$$

Il existe deux type de conflit :

1. **Conflit structurel** : deux transitions t_1 et t_2 sont en conflits structurel, si et seulement si elles ont au moins une place d'entrée en commun [23][27].

$$\exists p \in P : \text{Pré}(p, t_1) \times \text{Pré}(p, t_2) \neq 0. \quad (2.8)$$

2. **Conflit effectif** : deux transitions t_1 et t_2 sont en conflits effectif pour un marquage M , si seulement si t_1 et t_2 sont en conflit structurel et que : [23][27]

$$M \geq \text{Pré}(p, t_1); M \geq \text{Pré}(p, t_2) \text{ et } \exists p \in P : M(p) < \text{Pré}(p, t_1) + \text{Pré}(p, t_2). \quad (2.9)$$

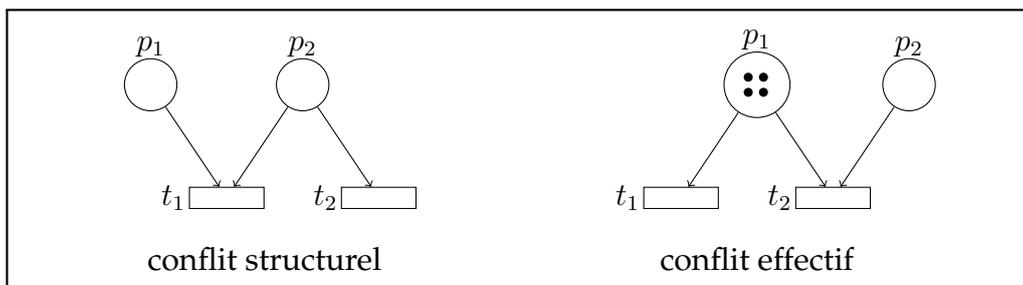


FIGURE 2.7 – Exemple d'un conflit

2.4.2 Le parallélisme

Le parallélisme est défini comme l'évolution simultanée de plusieurs processus dans un même système. Dans un RdP, le parallélisme est déclenché avec une transition ayant plusieurs places de sortie, comme présenté dans la figure 2.8 :

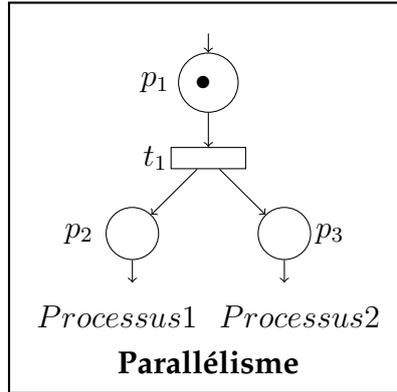


FIGURE 2.8 – Exemple de parallélisme

Parallélisme structurel : deux transitions t_1 et t_2 sont parallèles structurel si : [27]

$$\left(\text{Pré}(\cdot, t_1)^T \times \text{Pré}(\cdot, t_2) \right) = 0.$$

Elle n'ont donc aucune place d'entrée commune (le produit scalaire de leurs vecteurs Pré sont nul).

Parallélisme effectif : Deux transitions t_1 et t_2 sont parallèles effectif pour un marquage donné M si est seulement si elles sont parallèles structurellement et que : [27]

$$\begin{aligned} M(p) &\geq \text{Pré}(p, t_1) \\ M(p) &\geq \text{Pré}(p, t_2) \end{aligned}$$

2.5 Propriétés des RdPs

Les RdPs permettent de modéliser des systèmes complexes. Pour cela ils doivent se répondre à un certain nombre d'exigence (absence de blocage, préservation des fonctionnalités, existence d'un fonctionnement en régime permanent, ... etc.). Nous définissons maintenant les propriétés élémentaires des RdPs.

2.5.1 Réseau borné

Définition 2.5.1. Soit un réseau R avec un marquage initial M_0 , une place p_j du réseau marqué (R, M_0) est k -bornée si pour tout marquage M_i accessible depuis M_0 , $M_i(p_j) \leq k$.

$$p_j \text{ est } k\text{-bornée} \Leftrightarrow \forall M_i \text{ accessible depuis } M_0, \text{ et } p_j \in P, M_i(p_j) \leq k. \quad (2.10)$$

Un RdP marqué est borné si toutes ses places sont bornées.

Dans le cas contraire la place P_j est dite non bornée. Il s'en suit que le RdP est qualifié de non borné [19].

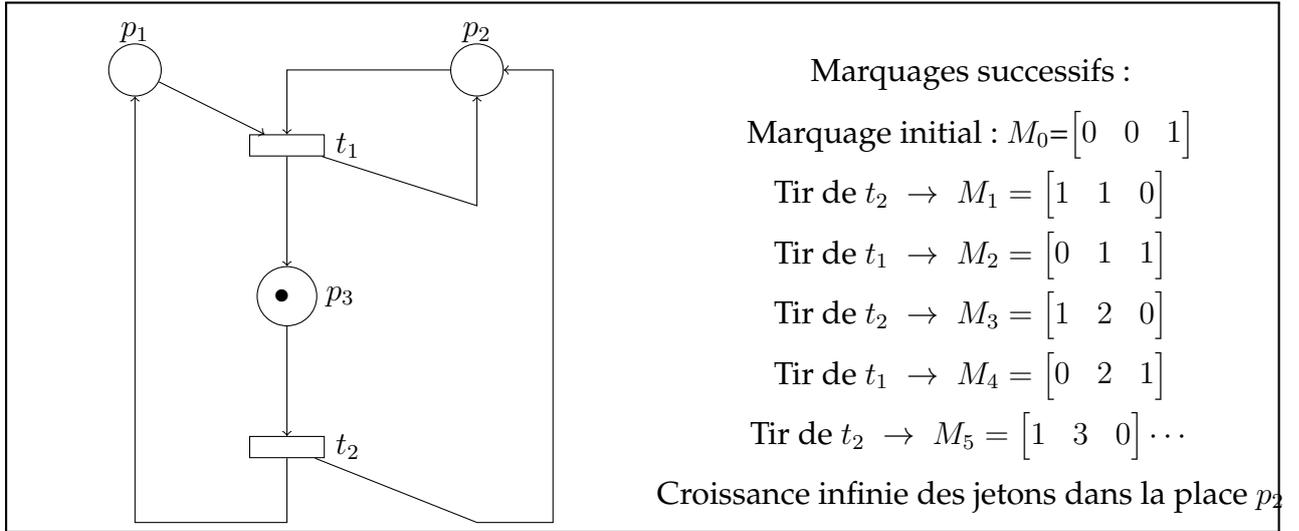


FIGURE 2.9 – Exemple d’un RdP non borné.

Définition 2.5.2. (RdP sauf) : Un RdP marqué est sauf ou binaire pour un marquage initial M_0 s’il est 1-borné [19].

2.5.2 Vivacité et blocage

Définition 2.5.3. (Vivacité) Une transition t_j est vivante pour un marquage initial M_0 , si pour tout marquage accessible M_k , il existe une séquence de franchissements à partir de M_k contenant t_j :

$$\forall (M_i, M_j) \in M_0, \quad \exists \sigma / M_i \xrightarrow{\sigma} M_j, \quad t_j \in \sigma \quad (2.11)$$

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

Si une transition t_j est vivante alors, à tout instant, on sait que t_j peut être franchie au cours de l’évolution du RdP [19].

Définition 2.5.4. (Quasi vivant) Une transition t_j est quasi vivante pour un marquage initial M_0 s’il existe une séquence de franchissements à partir de M_0 contenant t_j . Il s’en suit qu’un RdP est quasi vivant pour un marquage initial M_0 si toutes ses transitions sont quasi vivantes pour ce marquage initial. Conséquemment, une transition qui n’est pas quasi-vivante est inutile [19].

Définition 2.5.5. (Pseudo vivant) Un RdP est dit pseudo vivant si depuis le marquage initial, son évolution est telle qu’il existe au moins une transition qui puisse être franchie [19].

Définition 2.5.6. (Blocage) Un blocage est un marquage pour lequel aucune transition est validée. Un RdP marqué est dit sans blocage pour un marquage initial M_0 , si aucun marquage accessible n’induit un blocage [4].

2.5.3 La réversibilité

Définition 2.5.7. Un RdP est dit réversible si, à partir de n'importe quel marquage atteignable M_i , il existe une séquence de transitions franchissables σ qui permet de revenir au marquage initial M_0 [4][15].

2.5.4 Réinitialiabilité et état d'accueil

Définition 2.5.8. (État d'accueil) Un RdP a un état d'accueil M_a pour un marquage initial M_0 , si pour tout marquage M_i accessible depuis M_0 , il existe une séquence de franchissement σ tel que M_a est accessible depuis M_i en franchissant σ [19].

Définition 2.5.9. (Réinitialiabilité) Un RdP est dit réinitialisable pour un marquage initial M_0 , si M_0 est un état d'accueil [19].

2.6 Extension des RdP

Depuis les années 70, le concept RdP classique a été largement développé par de nombreux auteurs, dans le monde entier en intégrant particulièrement l'aspect temporel et stochastique dans le modèle initial. Les paragraphes suivants sont consacrés à la présentation de quelques extensions et à la définition initiale des réseaux de Petri.

2.6.1 Les réseaux de Petri étendus

La notion des réseaux de Petri sera étendue, par l'introduction des arcs inhibiteurs, d'une relation de priorité et la dépendance du poids des arcs en fonction du marquage.

► **Arcs inhibiteurs**[15]

Un arc inhibiteur est un arc orienté qui part d'une place p pour aboutir à une transition t . Son extrémité est marquée par un petit cercle. L'arc inhibiteur entre la place p et la transition t signifie que la transition t n'est validée que si la place p ne contient aucune marque. Le franchissement de t consiste à retirer une marque dans chaque place d'entrée de t à l'exception de p , et à ajouter une marque dans chaque place de sortie de t . On utilise aussi les expressions " RdP étendus" et "test à zéro".

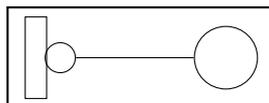


FIGURE 2.10 – Représentation d'un arc inhibiteur

Définition 2.6.1. (RdP à arc inhibiteur) Un RdP à arcs inhibiteur est défini par un 5-uplet $R = (P; T; Pré; Post; IN)$, où :

- P est un ensemble fini de places et T un ensemble fini de transitions ;
- $Pré : P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ et $Post : P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ sont les fonctions d'incidence avant et d'incidence arrière respectivement ;
- $IN : P \times T \rightarrow \mathbb{N}^*$ est la fonction d'inhibition [3].

► **Les réseaux de Petri à priorité**

Un tel réseau est utilisé lorsque l'on veut imposer un choix entre plusieurs transitions validées.

Définition 2.6.2. Un RdP étendu est un tuple $RdPE = (R, IN, >, M_0)$, où :

- R est un RdP,
- $IN : P \times T \rightarrow \mathbb{N}^*$ est l'application d'inhibition qui associe à tout couple (p_i, t_j) le poids de l'arc inhibiteur reliant la place p_i à la transition t_j ,
- $>$ est une relation de priorité entre transitions,
- M_0 le marquage initial.

2.6.2 RdP temporisés

2.6.2.1 Temporisation des places : les réseaux P-temporisés (P-Timed nets)

La temporisation des places consiste à associer une durée à chaque place, dont la signification est la suivante : une marque déposée dans une place p doit y rester au moins le temps spécifié par la fonction de temporisation.

Notons que nous considérons que le temps est discrétisé : par la suite, en choisissant une unité de temps adaptée, nous pouvons nous restreindre aux temporisations entières.

Définition 2.6.3. Un réseau de Petri **P-temporisé** est définie par le couple (R, d) avec :

- R est un réseau de petri $(P, T, Pré, Post, M_0)$;
- $d : P \rightarrow \mathbb{N}$ est la fonction de temporisation [2].

La règle de tir doit tenir compte du temps. Soit t_0 l'instant où une marque est déposée dans une place p . La marque est indisponible (on dit qu'elle est **gelée**) pendant une durée égal à $d(p)$, i.e. Dans l'intervalle $[t_0, t_0 + d(p)]$. Ensuite, la marque peut être utilisée pour le tir d'une transition. C'est ce que décrit la figure 2.11. Les temporisations sont placées à coté des places entre parenthèses [2].

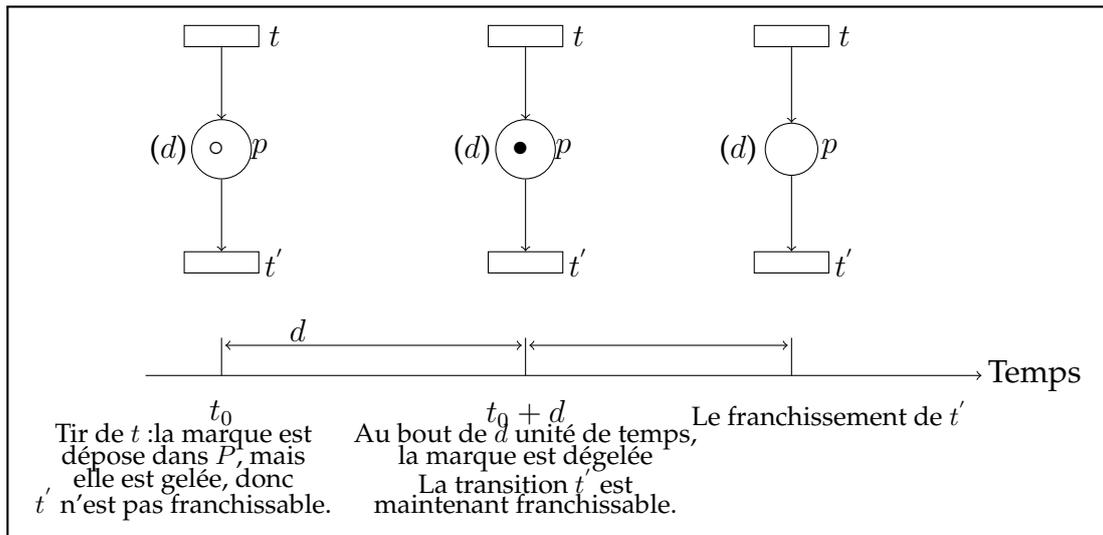


FIGURE 2.11 – P-temporisation

2.6.2.2 Temporisation des transitions : les réseaux T- temporisés (T-timed nets)

La temporisation des transitions consiste à associer une durée à chaque transition. Le tir d'une transition est décomposé en deux temps : l'enclenchement du tir et la fin du tir, séparés par la durée spécifique par la fonction de temporisation.

Définition 2.6.4. Un réseau de Petri **T-temporisé** est défini par (R, d) avec :

- R est un réseau de petri $(P, T, Pré, Post, M_0)$.
- $d : T \rightarrow \mathbb{N}$ est la fonction de temporisation [2].

La règle de franchissement est décrite dans la figure 2.12. Les temporisation sont placées entre parenthèses à coté des transitions. Il s'écoule exactement $d(t)$ entre le début et la fin de tir de la transition t . Pendant cette intervalle de temps, les marques entrantes sont gelées, elle ne peuvent plus être utilisées pour valider d'autres transitions. A la fin de tir, elles disparaissent, et les marques produites par t apparaissent.

2.6.3 Les réseaux de Petri temporels

L'une des solutions possible pour modéliser le comportement des systèmes est d'affecter aux places un intervalle de temps de séjour du jetons. Ainsi sur le modèle un intervalle, ouvert ou fermé est indiqué en regard de chaque place concernée.

Définition 2.6.5. Un réseau de Petri temporel est une paire $N_t = (R, IS)$ avec :

- R est un réseau de Petri.
- IS est la fonction durée de fonctionnement :

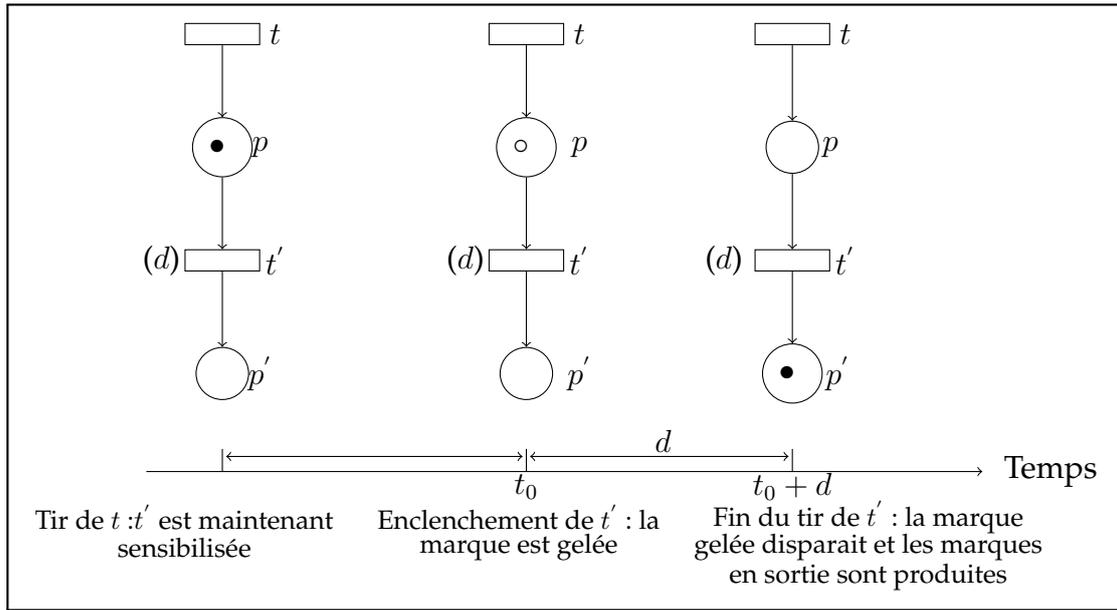


FIGURE 2.12 – T-temporisation

$$\begin{aligned}
 IS : T &\longrightarrow (\mathbb{Q}^+ \cup \infty) \times (\mathbb{Q}^+ \cup \infty) \\
 t_i &\longrightarrow IS_i(t_i) = [a_i, b_i]
 \end{aligned}$$

la fonction IS associe à chaque transition t_i du réseau un intervalle de temps à bornes rationnelles $IS_i = [a_i, b_i]$, où a_i est la date de tir au plus tôt et b_i est la date de tir au plus tard de t_i [23].

2.6.4 Réseaux de Petri stochastique (RdPS)

Les réseaux de Petri stochastiques ont été introduits par Florin dès 1978 pour répondre à certains problèmes d'évaluation liés à la sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques. Ces problèmes faisant intervenir des phénomènes aléatoires, les transitions du réseau de Petri ont comporté des temps de franchissement aléatoires, distribués par une loi exponentielle. Cette distribution exponentielle permet d'exploiter les propriétés mathématiques d'un processus de Markov [23].

Définition 2.6.6. Un réseau de Petri stochastique est le couple $(R; \Lambda)$ avec :

- $R = (P, T, Pré, Post; M_0)$ est un réseau de Petri.
- Λ est une fonction qui à chaque transition t associe un taux de franchissement $\lambda_t = \Lambda(t)$.

Dans les RdPS la durée de sensibilisation est une variable aléatoire θ , avec une distribution de probabilité, dans le cas de distribution exponentielle :

$$P_\theta(x) = P[\theta \leq x] = 1 - e^{-x}. \quad (2.12)$$

La fonction $P_\theta(x)$ d'écrit la probabilité pour la durée de sensibilisation soit inférieure ou égale à x .

Avec les RdPS, on pourra par exemple, calculer le temps de bon fonctionnement entre deux défaillances, le temps de réparation ou dans certains cas la durée opérationnelle d'une machine, les taux de production, l'évolution des stocks, \dots etc.

2.6.5 Réseaux de Petri stochastique généralisés (RdPSG)

Définition 2.6.7. Un réseau de Petri stochastique généralisé est un huit-uplet : $(P; T; Pré; post; IN; pri; G; M_0)$ où :

- P est l'ensemble des places.
- T est l'ensemble des transitions temporisées et des transitions immédiates.
- $Pré, Post, IN : P \times T \rightarrow N$ sont les fonctions d'incidence avant, d'incidence arrière et d'inhibition respectivement.
- $pri : T \rightarrow 0, 1$ est la fonction de priorité qui associe à chaque transition temporisée la valeur 0 et à chaque transition immédiate la valeur 1.
- $G : T \rightarrow R^+$ est une fonction qui associe à chaque transition temporisée un taux de franchissement.
- $M_0 : P \rightarrow N$ est le marquage initial du réseau [23].

Remarque 2.6.1. Dans la présentation graphique d'un RdPSG, les transitions immédiates sont représentées par des traits et les transitions temporisées par des rectangles.

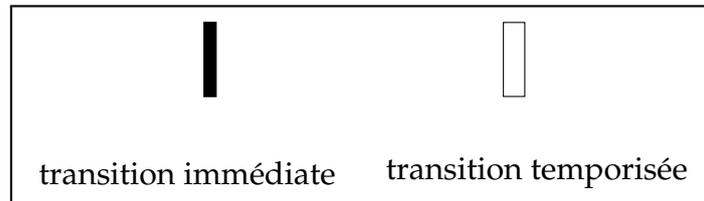


FIGURE 2.13 – Représentation des transitions immédiates et temporisées.

2.6.6 Les réseaux de Petri colorés (RdPC)

Les réseaux de Petri colorés, ou réseaux colorés, offrent une possibilité d'expression plus compacte que les réseaux de Petri ordinaires. Dans un réseau coloré :

- Chaque place contient des jetons typés (colorés). Nous associons à chaque place et transition des domaines de couleurs.
- Un arc liant une place et une transition est étiqueté par une application linéaire appelée fonction de couleur.

- Les transitions du réseau peuvent être munies d'une garde (une condition booléenne sur la couleur de la transition qui limite le tir de la transition aux couleurs pour lesquelles la garde est vraie) [5].

Définition 2.6.8. Un RdP coloré est un septuplet, $R = (P; T; C; Pré; Post; \phi; \Sigma)$ définit par :

- Σ : L'ensemble fini de types non vide, appelés ensembles de couleurs.
- P : est un ensemble fini de places.
- T : est un ensemble fini de transitions.
- C : la fonction de couleur de $P \cup T$ vers Σ .
- $Pré$ et $Post$ sont respectivement fonction d'incidence arrière et avant, qui associe à chaque couple $(p, t) \in P \times T$ une fonction de couleur de $C(t)$ vers $Bag(C(p))$.
- ϕ : **la fonction de garde**, associe à toute transition t une fonction de $C(t)$ vers B ($B = \{true, false\}$ est l'ensemble des booléens).
- **La fonction d'incidence** W est définie par $W(p, t) = Post(p, t) - Pré(p, t), \forall (p, t) \in P \times T$.

La représentation graphique d'un réseau coloré suit les mêmes conventions que la représentation graphique d'un réseau ordinaire, à ceci près que les étiquettes des arcs ne sont plus des entiers mais des fonctions de couleur [5].

Définition 2.6.9. (Marquage coloré)

Soit R un réseau de Petri coloré. Un marquage de R est une fonction qui à toute place $p \in P$ associe un élément de $Bag(C(p))$ (ensemble des multi-ensemble). L'ensemble des marquages de R est noté M_R [28].

Définition 2.6.10. (Règle de franchissement)

Une transition t est franchissable pour une instance $c_t \in C_t$ et un marquage M si et seulement si :

- Soit t est non gardée, soit la garde vaut 1 (= true) pour c_t .
- $\forall p \in P, M(p) \geq Pré(p, t)(c_t)$ [28].

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons commencé par présenter les éléments nécessaires à la modélisation de différents comportements tels que le parallélisme, le conflit, l'exclusion mutuelle, la contrainte de capacité limitée, etc. Ensuite, nous avons mis l'accent sur les propriétés qu'un système modélisé devrait satisfaire. En outre, nous avons examiné les extensions spécifiques aux Réseaux de Petri de base, en mettant particulièrement l'accent sur les Réseaux de Petri Colorés (RdPC) qui seront utilisés dans le prochain chapitre pour construire le modèle à étudier.

Modélisation et simulation de processus du chargement

3.1 Introduction

L'entreprise CEVITAL est intéressés à conserver des niveaux de service satisfaisants pour tous les clients. Pour cela, l'une de ses principales préoccupations est la minimisation de temps du chargement des camions.

Pour aborder la problématique identifiée lors du stage effectué au sein de la Direction Supply Chain de CEVITAL, comme exposée dans la section Problématique du chapitre 1, nous allons désormais élaborer un modèle mathématique spécifique au chargement d'huile au niveau des 5 quais de Cevital Food.

Au cours de ce chapitre, nous présenterons les solutions qui ont été proposées pour résoudre cette problématique de manière efficace.

3.2 Présentation du situation

Voici un schéma représentant la problématique que nous allons traiter dans ce chapitre :

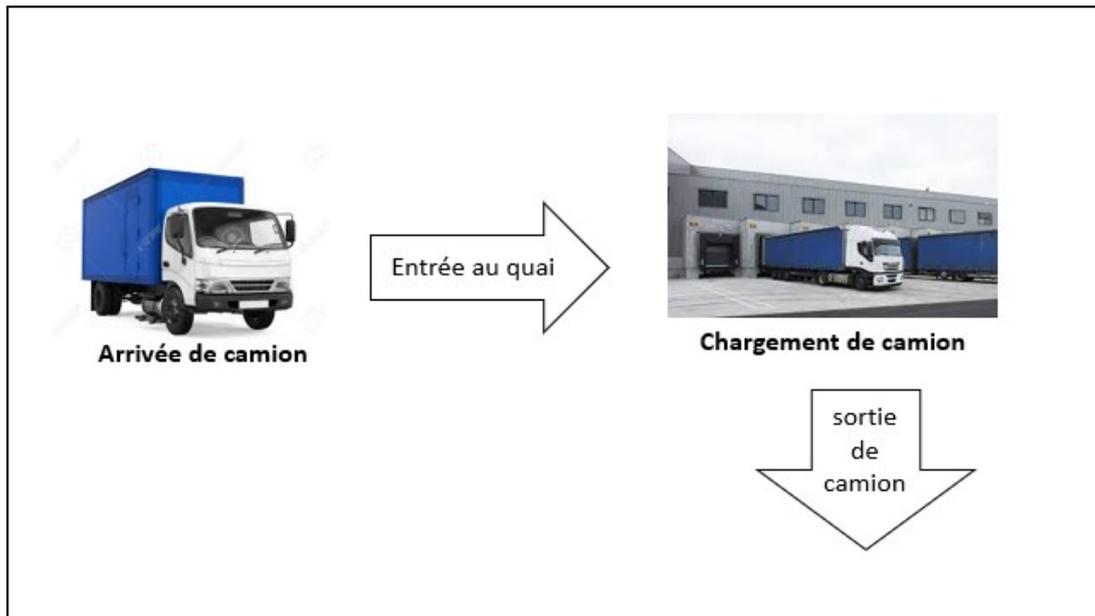


FIGURE 3.1 – Présentation de la situation

3.3 Construction de modèle

La complexité du processus étudié, ainsi que la présence des phénomènes du parallélisme et du partage de ressource, nous a conduit à faire appel aux RDPs pour une évaluation adéquate et valide des différents indices de performances.

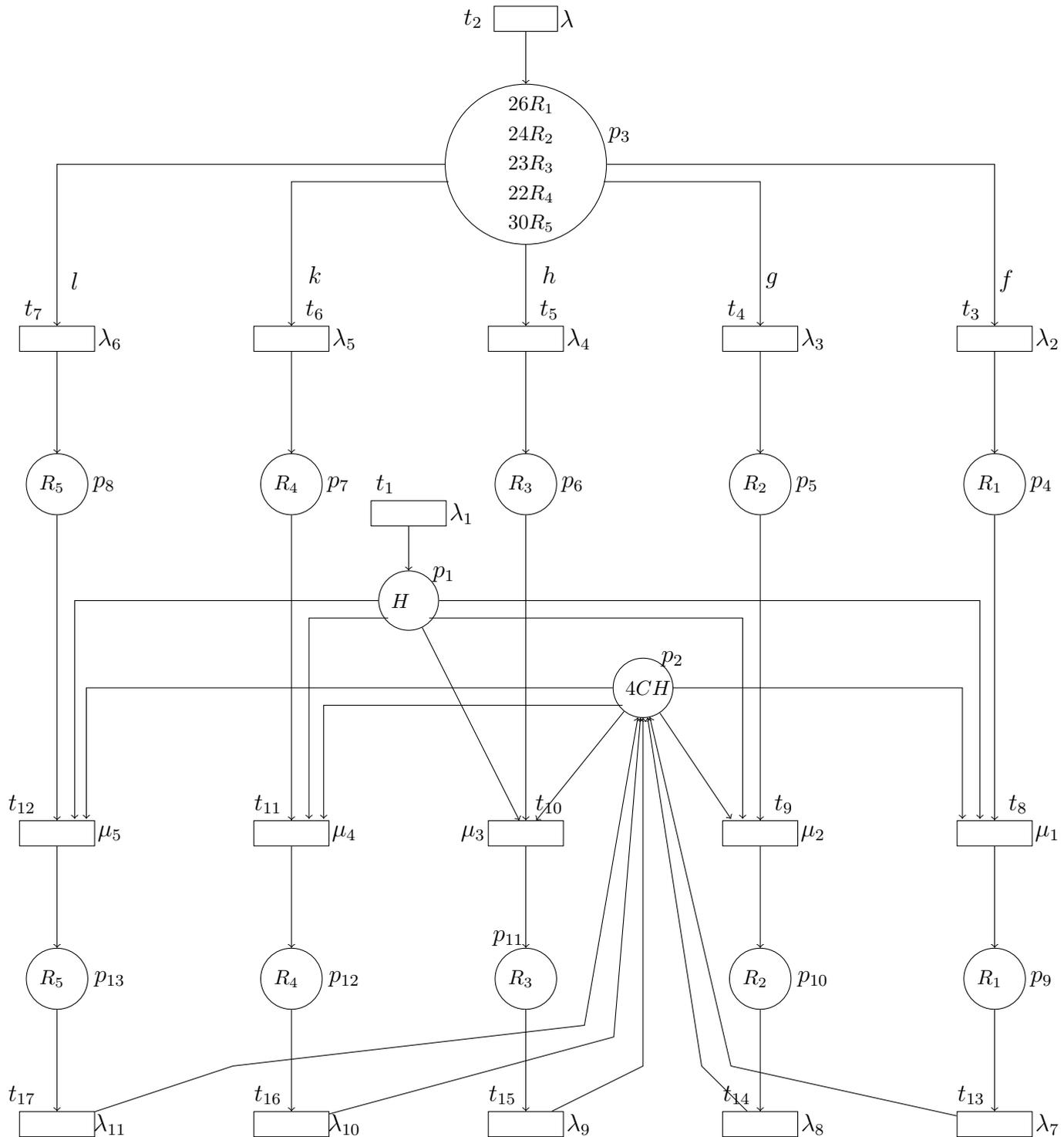


FIGURE 3.2 – Modélisation de processus du chargement des camions

Description de modèle

Dans ce modèle on a :

- La place p_1 représente la quantité d'huile (H) en stock.
- La place p_2 représente les chariots disponibles pour le chargement. 4CH indique la présence de 4 chariots.
- La place p_3 concerne les camions arrivés . Elle comprend 5 types d'arrivées :
 - R_1 : représente un camion qui a pris un rendez-vous au quai 1.
 - R_2 : représente un camion qui a pris un rendez-vous au quai 2.
 - R_3 : représente un camion qui a pris un rendez-vous au quai 3.
 - R_4 : représente un camion qui a pris un rendez-vous au quai 4.
 - R_5 : représente un camion qui a pris un rendez-vous au quai 5.

le nombre maximale de rendez vous au quai 1 (resp quai 2, quai 3, quai 4 et quai 5) est 26 (resp 24, 23, 22 et 30).

- La place p_4 représente un camion installé au niveau de quai 1 (quai occupée).
- La place p_5 représente un camion installé au niveau de quai 2 (quai occupée).
- La place p_6 représente un camion installé au niveau de quai 3 (quai occupée).
- La place p_7 représente un camion installé au niveau de quai 4 (quai occupée).
- La place p_8 représente un camion installé au niveau de quai 5 (quai occupée).
- La place p_9 représente un camion chargé par les chariots au niveau de quai 1.
- La place p_{10} représente un camion chargé par les chariots au niveau de quai 2.
- La place p_{11} représente un camion chargé par les chariots au niveau de quai 3.
- La place p_{12} représente un camion chargé par les chariots au niveau de quai 4.
- La place p_{13} représente un camion chargé par les chariots au niveau de quai 5.

Le franchissement de transition t_1 indique l'arrivée d'huile de l'unité de production vers la zone de stockage.

Dés qu'un camion arrive, ça permet le franchissement de t_2 . Si la place p_3 contient un jeton de type :

- R_1 cela permet le franchissement de t_3 , indiquant l'entrée de camion au quai 1.
- R_2 cela permet le franchissement de t_4 , indiquant l'entrée de camion au quai 2.
- R_3 cela permet le franchissement de t_5 , indiquant l'entrée de camion au quai 3.
- R_4 cela permet le franchissement de t_6 , indiquant l'entrée de camion au quai 4.
- R_5 cela permet le franchissement de t_7 , indiquant l'entrée de camion au quai 5.

Le franchissement des transitions t_8 (resp t_9, t_{10}, t_{11} et t_{12}), indique le chargement de camion stationner au niveau de quai 1 (resp 2, 3, 4 et 5). Pour ce faire, il faut y avoir des jetons dans les places p_4 (resp p_5, p_6, p_7 et p_8), ainsi dans les places p_1 et p_2 .

La présence d'un jeton à la place p_9 (resp p_{10}, p_{11}, p_{12} et p_{13}), permet le franchissement de la transition t_{13} (resp t_{14}, t_{15}, t_{16} et t_{17}) indiquant la sortie des camions chargés. Et fournir les chariots à nouveau.

Concernant les fonction définis sur le réseau on a :

f : définit par $f \langle R_1 \rangle = \langle R_1 \rangle$ ce qui signifie que la transition t_3 ne peut être franchie que pour $\langle R_1 \rangle$.

g : définit par $f \langle R_2 \rangle = \langle R_2 \rangle$ ce qui signifie que la transition t_4 ne peut être franchie que pour $\langle R_2 \rangle$.

h : définit par $f \langle R_3 \rangle = \langle R_3 \rangle$ ce qui signifie que la transition t_5 ne peut être franchie que pour $\langle R_3 \rangle$.

k : définit par $f \langle R_4 \rangle = \langle R_4 \rangle$ ce qui signifie que la transition t_6 ne peut être franchie que pour $\langle R_4 \rangle$.

l : définit par $f \langle R_5 \rangle = \langle R_5 \rangle$ ce qui signifie que la transition t_7 ne peut être franchie que pour $\langle R_5 \rangle$.

3.4 Récolte des données

Cette section présente les résultats obtenus grâce à la collecte de données auprès de l'entreprise Cevital. Les données recueillies comprenant deux tableaux importants : le premier tableau, présente le nombre de camions arrivées par jours, tandis que le deuxième tableau présente la moyenne de chargement d'un camion par jours. Ces informations sont essentielles pour évaluer l'efficacité du processus de chargement. Les tableaux détaillés contenant ces données seront présentés dans cette section.

CHAPITRE 3. MODÉLISATION ET SIMULATION DE PROCESSUS DU
CHARGEMENT

	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_1	X_7
1 avril 2023	6	9	7	13	10	84	45
2 avril 2023	15	10	13	9	12	72	59
3 avril 2023	10	11	11	12	12	69	56
4 avril 2023	12	12	9	13	11	74	57
5 avril 2023	16	16	19	13	14	97	78
6 avril 2023	11	13	12	13	17	78	68
7 avril 2023	14	14	6	9	14	70	57
8 avril 2023	15	12	13	9	10	84	59
9 avril 2023	7	15	11	10	16	59	59
10 avril 2023	6	11	8	9	11	99	45
11 avril 2023	11	12	13	8	14	77	58
12 avril 2023	8	16	10	14	17	82	65
13 avril 2023	14	17	8	13	16	59	68
14 avril 2023	6	9	9	7	12	101	43
15 avril 2023	14	12	15	11	6	65	58
16 avril 2023	14	15	9	14	15	74	67
17 avril 2023	6	10	10	6	12	57	44
18 avril 2023	3	8	14	6	16	65	47
19 avril 2023	10	11	8	6	7	67	42
20 avril 2023	11	8	4	5	4	39	32
21 avril 2023	14	1	2	3	1	16	21
22 avril 2023	4	6	3	4	3	42	20
23 avril 2023	20	13	14	12	17	92	76
24 avril 2023	8	12	11	8	10	81	49
25 avril 2023	4	15	11	17	15	58	62
26 avril 2023	4	15	7	7	11	59	44
27 avril 2023	8	10	6	11	9	59	44
28 avril 2023	6	8	9	4	7	33	34
29 avril 2023	6	2	5	4	6	32	23
30 avril 2023	0	5	5	1	4	50	15

TABLE 3.1 – Nombre de camions arrivées

X_1 : représente le nombre de camions arrivés au CEVITAL.

X_2, X_3, X_4, X_5 et X_6 représentent respectivement le nombre de camions entrées au quai 1, quai 2, quai 3, quai 4 et quai 5 par jour pendant le mois d'avril 2023.

X_7 : représente le nombre de camions sortis.

Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 et Y_5 représentent respectivement la durée moyenne de chargement en minutes d'un camion au quai 1, quai 2, quai 3, quai 4 et quai 5 par jour pendant le mois d'avril 2023.

Remarque 3.4.1. Le nombre du camion entrées à un quai est égale au nombre du camion

CHAPITRE 3. MODÉLISATION ET SIMULATION DE PROCESSUS DU
CHARGEMENT

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
1 avril 2023	40	36.8	41.5	38.7	34.7
2 avril 2023	40.2	41.4	36	43.7	46.75
3 avril 2023	30.2	28.8	34.36	33.16	29.41
4 avril 2023	33.3	36.9	27.2	38.1	38
5 avril 2023	45.12	2.18	46.1	41.4	44.1
6 avril 2023	44.18	46.8	35.5	52.6	48
7 avril 2023	51.53	51.7	56.5	44.7	55.14
8 avril 2023	37.4	40.08	33.1	33.3	36.4
9 avril 2023	45.42	40.2	38.8	35.1	42.75
10 avril 2023	33.5	41.8	37.75	43.4	34.8
11 avril 2023	40.8	38.4	38.07	43.3	36.4
12 avril 2023	36.5	42.6	42.7	40.7	46.1
13 avril 2023	56.28	43.4	41.75	47.23	38.5
14 avril 2023	26.66	53.2	47.5	45.5	47.8
15 avril 2023	39.28	31.5	44.86	47.8	53.5
16 avril 2023	41.64	52.4	36.4	63.42	38.53
17 avril 2023	37	44.1	46.7	56.6	47.4
18 avril 2023	53.66	38.5	51.2	48.6	41.5
19 avril 2023	35.6	40.6	43.25	26.6	23.7
20 avril 2023	31.36	34.6	40	37.6	30
21 avril 2023	32.35	9	28	33.33	21
22 avril 2023	52	45.33	52.3	40.5	49
23 avril 2023	45.75	44.4	50.5	48.4	51
24 avril 2023	78.62	51.58	56.3	58.5	73.1
25 avril 2023	38.25	51.8	45.27	49.3	50.33
26 avril 2023	25.25	41.4	49	57.7	42.18
27 avril 2023	40.12	53.9	37.16	34.8	99.66
28 avril 2023	39.6	57.7	53.44	44.25	45.5
29 avril 2023	29	26	31	25.5	33.33
30 avril 2023	0	37.8	48.6	39	40.75

TABLE 3.2 – Les durées moyenne de chargement

sorties de ce quai.

3.5 Identification des lois des taux d'entrée, de sortie et les durées de chargement des différents quai

3.5.1 Identification de la loi de taux des arrivées

Soit la variable aléatoire X_1 représente le taux des arrivées au CEVITAL . Les résultats du test de Kolmogorov- Smirnov sont représentés dans la table suivante :

La loi	Poisson	Géométrique	Binomiale
Statistique	0.24392	0.37492	0.35634
Valeur p	0.5799	0.0003546	0.0003546
La décision	Acceptée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.3 – Ajustement de la loi d'entrée d'un camion au CEVITAL pour un risque $\alpha = 0.05$.

L'interprétation des résultats :

Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l'ajustement de la loi de la variable aléatoire X_1 par celle de Poisson de paramètres $\lambda = 66.46$ *camions/jour*.

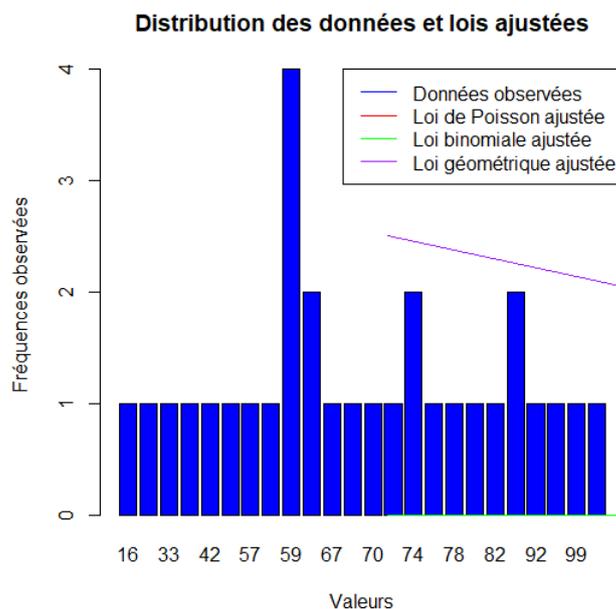


FIGURE 3.3 – Distribution des lois ajustées des données des arrivées.

3.5.2 Identification de la loi de taux d'entrée au quai 1

Soit la variable aléatoire X_2 représente le taux d'entrée au quai 1. Les résultats du test de Kolmogorov- Smirnov sont représentés dans la table suivante :

La loi	Poisson	Géométrique	Binomiale
Statistique	0.2441	0.33012	0.28949
Valeur p	0.05603	0.002813	0.0131
La décision	Acceptée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.4 – Ajustement de la loi d'entrée d'un camion au quai 1 pour un risque $\alpha = 0.05$.

L'interprétation des résultats :

Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l'ajustement de la loi de la variable aléatoire X_2 par celle de Poisson de paramètres $\lambda = \lambda_2 = 9.4$ camions/jours.

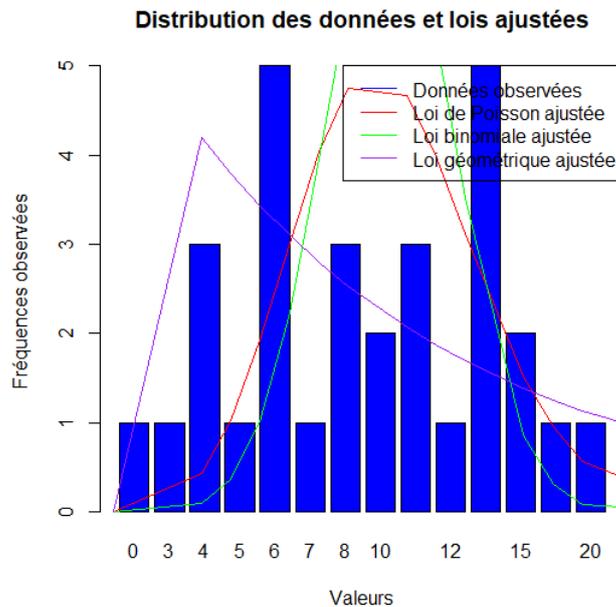


FIGURE 3.4 – Distribution des lois ajustées des données d'entrée au quai 1.

3.5.3 Identification de la loi de taux d'entrée au quai 2

Soit la variable aléatoire X_3 représente le taux d'entrée au quai 2. Les résultats du test de Kolmogorov- Smirnov sont représentés dans la table suivante :

La loi	Poisson	Géométrique	Binomiale
Statistique	0.19597	0.28285	0.41177
Valeur p	0.19995	0.01646	$7.637e^{-5}$
La décision	Acceptée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.5 – Ajustement de la loi d’entrée d’un camion au quai 2 pour un risque $\alpha = 0.05$.

L’interprétation des résultats :

Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l’ajustement de la loi de la variable aléatoire X_3 par celle de Poisson de paramètres $\lambda = \lambda_3 = 10.93 \text{ camions/jour}$.

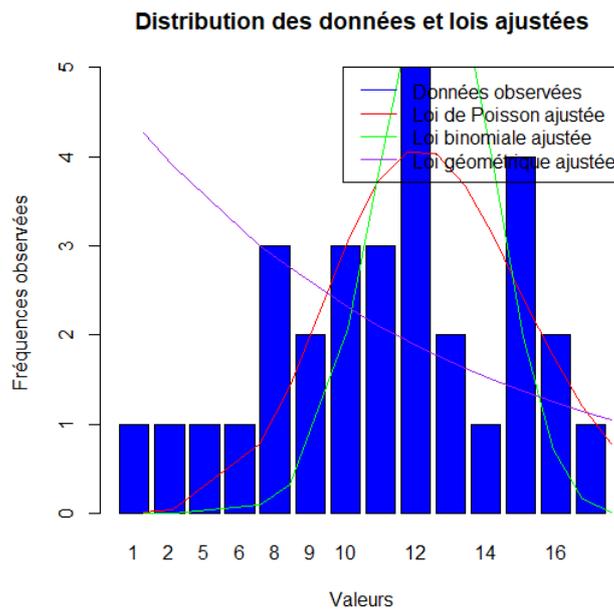


FIGURE 3.5 – Distribution des lois ajustées des données d’entrée au quai 2.

3.5.4 Identification de la loi de taux d’entrée quai 3

Soit la variable aléatoire X_4 représente le taux d’entrée au quai 3. Les résultats du test de Kolmogorov- Smirnov sont représentés dans la table suivante :

L’interprétation des résultats :

Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l’ajustement de la loi de la variable aléatoire X_4 par celle de Poisson de paramètres $\lambda = \lambda_4 = 9.4 \text{ camions/jour}$.

La loi	Poisson	Géométrique	Binomiale
Statistique	0.16257	0.35479	0.23224
Valeur p	0.4061	0.00105	0.07862
La décision	Acceptée	Rejetée	Acceptée

TABLE 3.6 – Ajustement de la loi d’entrée d’un camion au quai 3 pour un risque $\alpha = 0.05$.

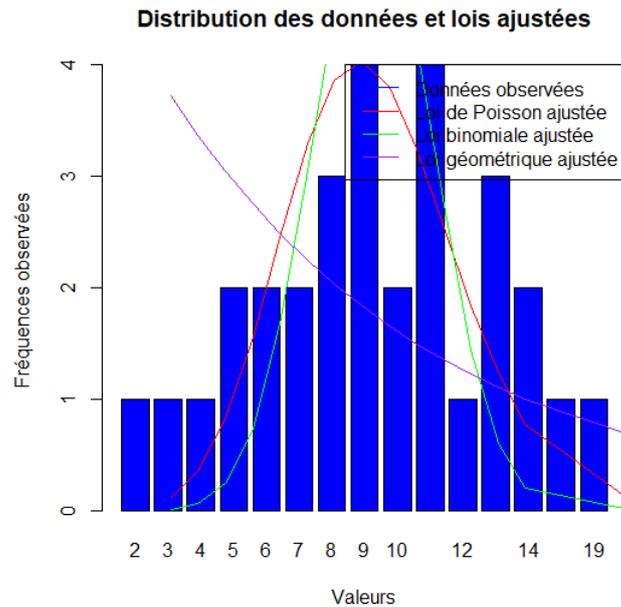


FIGURE 3.6 – Distribution des lois ajustées des données d’entrée au quai 3.

3.5.5 Identification de la loi de taux d’entrée quai 4

Soit la variable aléatoire X_5 représente le taux d’entrée au quai 4. Les résultats du test de Kolmogorov-Smirnov sont représentés dans la table suivante :

La loi	Poisson	Géométrique	Binomiale
Statistique	0.20667	0.34175	0.2898
Valeur p	0.1541	0.00181	0.01296
La décision	Acceptée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.7 – Ajustement de la loi d’entrée d’un camion au quai 4 pour un risque $\alpha = 0.05$.

L'interprétation des résultats :

Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l'ajustement de la loi de la variable aléatoire X_5 par celle de Poisson de paramètres $\lambda = \lambda_5 = 9.03 \text{ camions/jour}$.

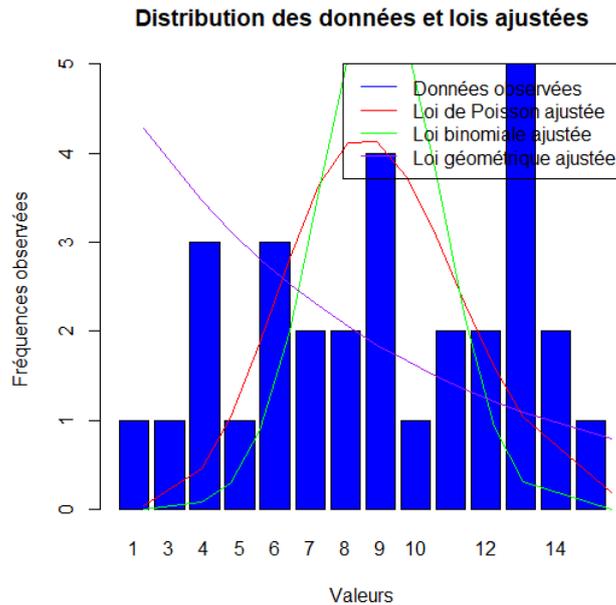


FIGURE 3.7 – Distribution des lois ajustées des données d'entrée au quai 4.

3.5.6 Identification de la loi de taux d'entrée quai 5

Soit la variable aléatoire X_6 représente le taux d'entrée au quai 5. Les résultats du test de Kolmogorov- Smirnov sont représentés dans la table suivante :

La loi	Poisson	Géométrique	Binomiale
Statistique	0.22312	0.32387	0.33677
Valeur p	0.1009	0.00371	0.002216
La décision	Acceptée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.8 – Ajustement de la loi d'entrée d'un camion au quai 5 pour un risque $\alpha = 0.05$.

L'interprétation des résultats :

Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l'ajustement de la loi de la variable aléatoire X_6 par celle de Poisson de paramètres $\lambda = \lambda_6 = 10.96 \text{ camions/jour}$.

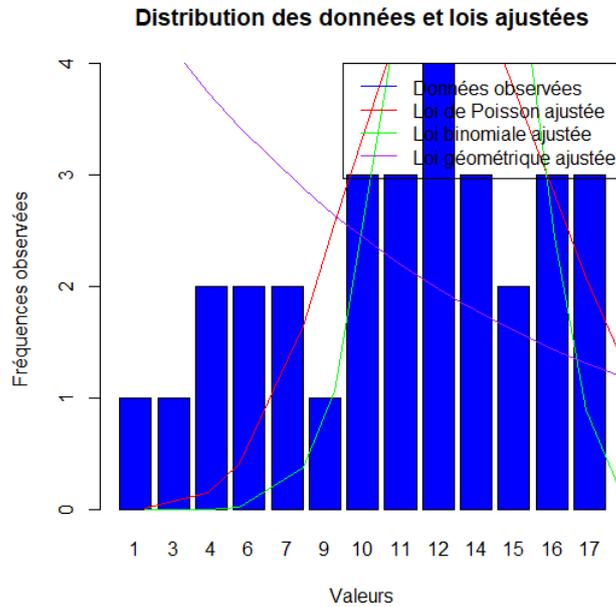


FIGURE 3.8 – Distribution des lois ajustées des données d’entrée au quai 5.

3.5.7 Identification de la loi du temps de chargement quai 1

Soit la variable aléatoire Y_1 représente la durée en minutes que passe un camion dans la quai 1. Les résultats du test de Kolmogorov-Smirnov sont représentés dans la table suivante :

La loi	Exponentielle	Normale	Weibull	Gamma
Statistique	0.96774	0.14016	0.20333	0.17303
Valeur p	$3.331e^{-16}$	0.5306	0.1673	0.2729
La décision	Rejetée	Acceptée	Acceptée	Acceptée

TABLE 3.9 – Ajustement de la loi de la durée chargement d’un camion au quai 1 pour un risque $\alpha = 0.05$.

L’interprétation des résultats :

Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l’ajustement de la loi de la variable aléatoire Y_1 par celle de Normal de paramètres $\sigma = 12.47 m = \mu_1 = 39.25 camions/jour$.

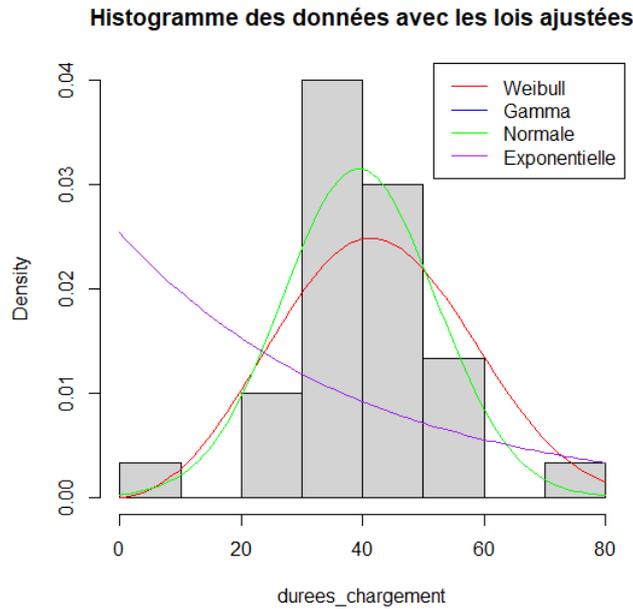


FIGURE 3.9 – Histogramme des durées de chargement au quai 1 avec les lois ajustées.

3.5.8 Identification de la loi du temps de chargement quai 2

Soit la variable aléatoire Y_2 représente la durée en minutes que passe un camion dans le quai 2. Les résultats du test de Kolmogorov-Smirnov sont représentés dans la table suivante :

La loi	Exponentielle	Normale	Weibull	Gamma
Statistique	0.43239	0.13974	0.12281	0.20442
Valeur p	$2.686e^{-5}$	0.6014	0.7561	0.1629
La décision	Rejetée	Acceptée	Acceptée	Acceptée

TABLE 3.10 – Ajustement de la loi de la durée de chargement d'un camion au quai 2 pour un risque $\alpha = 0.05$.

L'interprétation des résultats :

Le test de Kolmogorov-Smirnov valide l'ajustement de la loi de la variable aléatoire Y_2 par celle de Weibull de paramètres $\alpha = 5.27$ $\beta = 45.1$. Dans ce cas : $\mu_2 = \beta * \Gamma(1 + 1/\alpha) = 60.35$ camions/jour

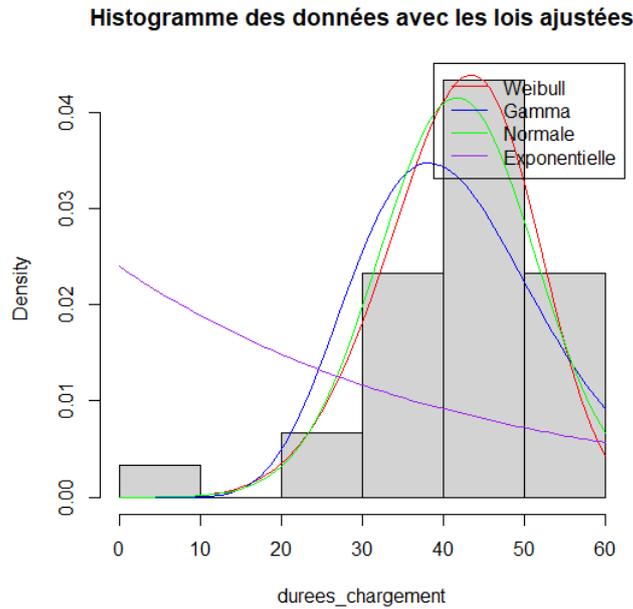


FIGURE 3.10 – Histogramme des durées de chargement au quai 2 avec les lois ajustées.

3.5.9 Identification de la loi du temps de chargement au quai 3

Soit la variable aléatoire Y_3 représente la durée en minutes que passe un camion dans la quai 3. Les résultats du test de Kolmogorov- Smirnov sont représentés dans la table suivante :

La loi	Exponentielle	Normale	Weibull	Gamma
Statistique	0.047865	0.085203	0.097267	0.074633
Valeur p	$7.68e^{-7}$	0.9686	0.0913	0.9917
La décision	Rejetée	Acceptée	Acceptée	Acceptée

TABLE 3.11 – Ajustement de la loi de la durée chargement d’un camion au quai 3 pour un risque $\alpha = 0.05$.

L’interprétation des résultats :

Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l’ajustement de la loi de la variable aléatoire Y_3 par celle de Gamma de paramètres $\alpha = 29.06735$ $\beta = 0.6960518$. Par conséquent, la valeur de $\mu_3 = \frac{\alpha}{\beta} = 41.76$ *camion/jour*.

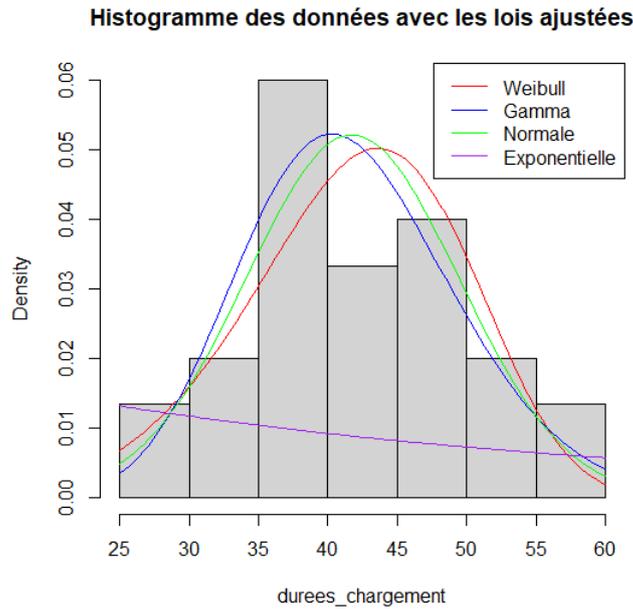


FIGURE 3.11 – Histogramme des durées de chargement au quai 3 avec les lois ajustées.

3.5.10 Identification de la loi du temps de chargement au quai 4

Soit la variable aléatoire Y_4 représente la durée en minutes que passe un camion dans la quai 4. Les résultats du test de Kolmogorov- Smirnov sont représentés dans la table suivante :

La loi	Exponentielle	Normale	Weibull	Gamma
Statistique	0.47012	0.076724	0.10048	0.069798
Valeur p	$1.328e^{-6}$	0.9887	0.8929	0.9963
La décision	Rejetée	Acceptée	Acceptée	Acceptée

TABLE 3.12 – Ajustement de la loi de la durée chargement d'un camion au quai 4 pour un risque $\alpha = 0.05$.

L'interprétation des résultats :

Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l'ajustement de la loi de la variable aléatoire Y_4 par celle de Gamma de paramètres $\alpha = 22.7917526$ $\beta = 0.5289418$. Donc la moyenne de la variable aléatoire Y_4 , peut être calculé comme suit : $\mu_4 = \frac{\alpha}{\beta} = 43.08 \text{ camions/jour}$.

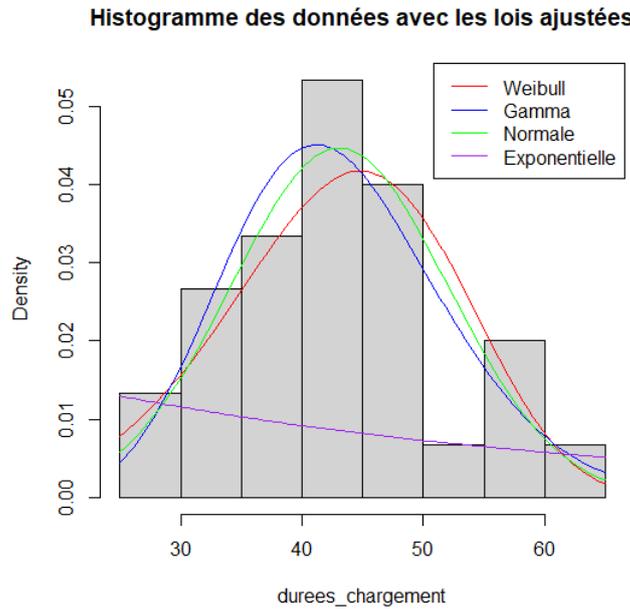


FIGURE 3.12 – Histogramme des durées de chargement au quai 4 avec les lois ajustées.

3.5.11 Identification de la loi du temps de chargement au quai 5

Soit la variable aléatoire Y_5 représente la durée en minutes que passe un camion dans la quai 5. Les résultats du test de Kolmogorov- Smirnov sont représentés dans la table suivante :

La loi	Exponentielle	Normale	Weibull	Gamma
Statistique	0.4305	0.16912	0.18892	0.13196
Valeur p	$2.963e^{-5}$	0.3575	0.2346	0.6823
La décision	Rejetée	Acceptée	Acceptée	Acceptée

TABLE 3.13 – Ajustement de la loi de la durée chargement d'un camion au quai 5 pour un risque $\alpha = 0.05$.

L'interprétation des résultats :

Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l'ajustement de la loi de la variable aléatoire Y_5 par celle de Gamma de paramètres $\alpha = 12.64306970$ $\beta = 0.29555103$. Ce qui nous donne : $\mu_5 = \frac{\alpha}{\beta} = 42,77$ camions/jour.

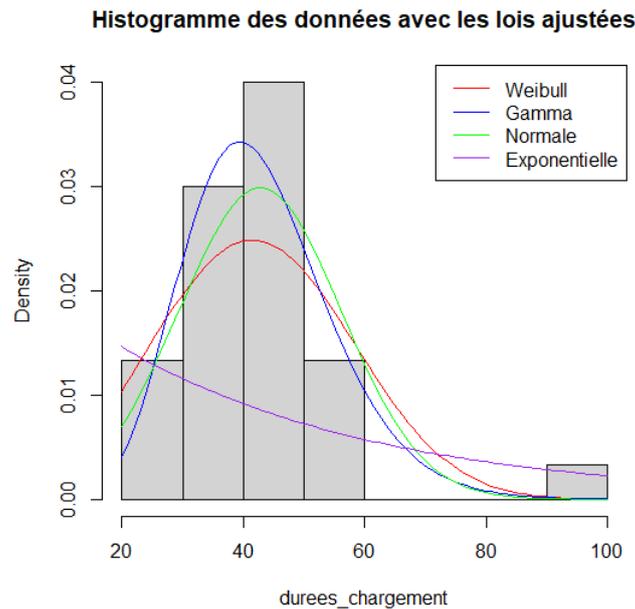


FIGURE 3.13 – Histogramme des durées de chargement au quai 5 avec les lois ajustées.

3.5.12 Identification de la loi de taux des sorties

Soit la variable aléatoire X_1 représentés le taux des sorties au cevital. Les résultats du test de Kolmogorov- Smirnov sont représenté dans la table suivante :

La loi	Poisson	Géométrique	Binomiale
Statistique	0.24292	0.379429	0.35634
Valeur p	0.05799	0.0003546	0.0009822
La décision	Acceptée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.14 – Ajustement de la loi d’entrée d’un camion au CEVITAL pour un risque $\alpha = 0.05$.

L’interprétation des résultats :

Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l’ajustement de la loi de la variable aléatoire X_7 par celle de Poisson de paramètres $\lambda = \lambda_7 = 52.1 \text{ camions/jour}$.

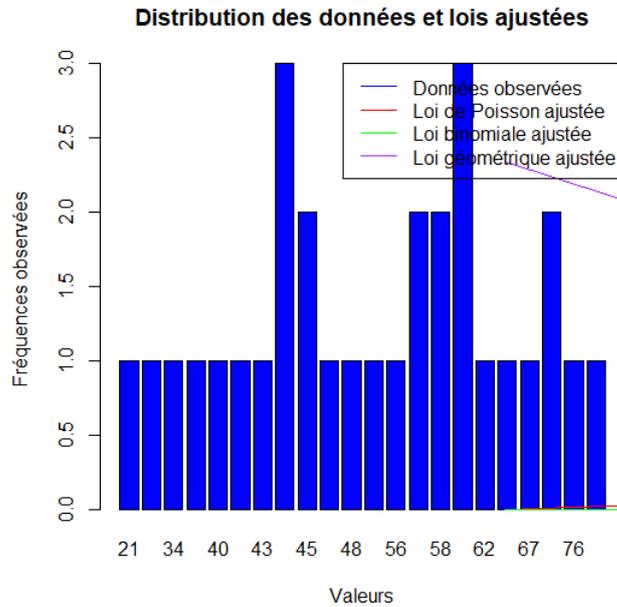


FIGURE 3.14 – Histogramme des sorties avec les lois ajustées

3.5.13 Identification de la loi d'arrivée d'huile au zone de stockage

La quantité d'huile provenant de l'unité de production et se dirigeant vers la zone de stockage reste constante, ce qui signifie que la production est stable. Par conséquent, la loi d'arrivée de l'huile est déterministe, et le débit est fixé à $\lambda_1 = 1800 \text{ t/jour}$.

3.6 Étude du modèle du réseau de Petri coloré

Nous avons implémenté le modèle sur le simulateur CPN tools, la figure (3.15) nous montre comment le modèle apparaît sur l'interface du simulateur :

dans la partie index nous avons déclaré 14 différentes places telle que :

1. colset P3 : définit les camion, elle contient 5 variables (var in1, in2, in3, in4, in5).
2. colset P4 : définit le camion entré au quai 1, avec une variable (var in11).
3. colset P5 : définit le camion entré au quai 2, avec une variable (var in22).
4. colset P6 : définit le camion entré au quai 3, avec une variable (var in33).
5. colset P7 : définit le camion entré au quai 4, avec une variable (var in44).
6. colset P8 : définit le camion entré au quai 5, avec une variable (var in55).
7. colset P9 : définit le camion chargé au quai 1, avec une variable (var in111).
8. colset P10 : définit le camion chargé au quai 2, avec une variable (var in222).

CHAPITRE 3. MODÉLISATION ET SIMULATION DE PROCESSUS DU CHARGEMENT

9. colset P11 : définit le camion chargé au quai 3, avec une variable (var in333).
10. colset P12 : définit le camion chargé au quai 4, avec une variable (var in444).
11. colset P13 : définit le camion chargé au quai 5, avec une variable (var in555).
12. colset P1 : définit l'huile, elle contient 5 variables (var H1, H2, H3, H4, H5).
13. colset P2 : définit les chariots, elle 5 variables (var C1, C2, C3, C4, C5).

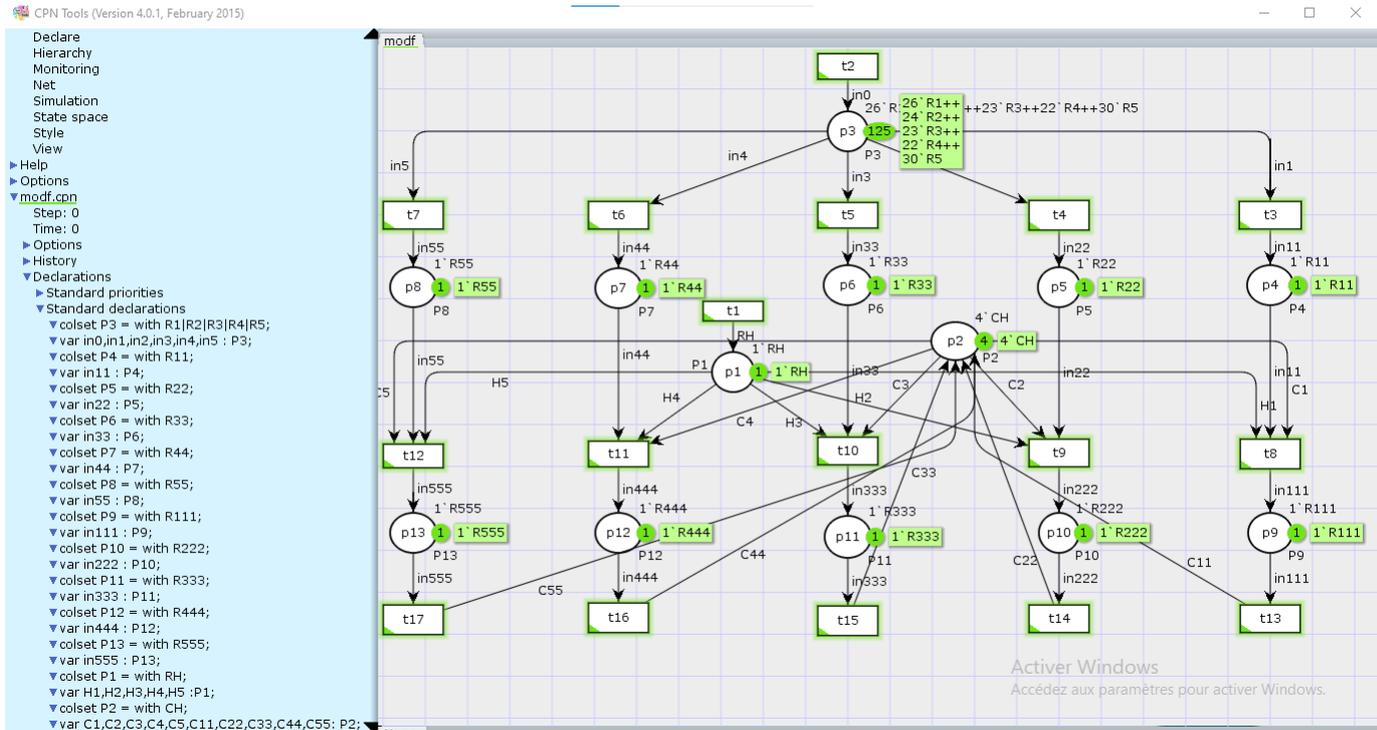


FIGURE 3.15 – Le modèle proposé sur l'interface de simulateur

CHAPITRE 3. MODÉLISATION ET SIMULATION DE PROCESSUS DU CHARGEMENT

CPN Tools state space report for:
/cygdrive/C/Users/PC/Desktop/hhhhh/mooo.cpn
Report generated: Tue Jun 20 14:08:27 2023

Statistics

State Space

Nodes: 30681
Arcs: 99020
Secs: 300
Status: Partial

Scc Graph

Nodes: 30681
Arcs: 99020
Secs: 7

Boundedness Properties

FIGURE 3.16 – Rapport 1

Home Markings
None

Liveness Properties

Dead Markings
28554 [9999,9998,9997,9996,9995,...]

Dead Transition Instances
None

Live Transition Instances
None

Fairness Properties

No infinite occurrence sequences.

FIGURE 3.17 – Rapport 2

D'après la figure 3.16 obtenue lors de la vérification avec CPN tools, on constate que le nombre de nœuds dans SCC Graph est le même dans le modèle.

La figure 3.17 elle montre que le système reçoit toujours des arrivées de l'extérieur. Le modèle est Vivant et par conséquent, n'a pas de transitions mortes. Chaque marquage accessible est une état d'accueil, donc le modèle est réversible donc réinitialisable. Alors on peut dire que le modèle est validé car il vérifie les propriétés suivantes (**Vivacité, Bornitude et Réversibilité**).

3.7 Résultats de la simulation

Nous avons fait une simulation sur le simulateur CPN tools pour notre modèle qui commence de 100 step -10000 step, et nous avons résumé les résultats dans les tableaux ci-dessous.

<i>N^{bre} simulation</i>	<i>N^{bre} de camions</i>
100	99
1000	712
10000	1831
100000	19703

TABLE 3.15 – nombre moyen de camions dans le système.

Le tableau 3.15 nous montre le nombre moyen des clients dans le système. Nous remarquons qu'à chaque fois que le nombre de simulation augmente le nombre moyen des client dans le système augmente a cause des arrivées des clients de l'extérieur.

<i>N^{bre} simulation</i>	Quai 1	Quai 2	Quai 3	Quai 4	Quai 5
100	25	22	19	17	24
1000	60	48	47	39	52
10000	97	92	89	91	101
100000	159	151	149	149	167

TABLE 3.16 – nombre moyen de camions chargés dans chaque quai.

Le tableau 3.16 nous montre le nombre moyen de camions chargés dans chaque quai. À partir de tableau 3.16, nous remarquons qu'à chaque fois le nombre de simulation augmente le nombre moyen de camions chargés augmente ce qui signifie que certaines clients ont trouvés le quai dont ils sont besoin.

Les résultats obtenus dans le tableau 3.17 montrent une relation entre le nombre de chariots utilisés et le temps moyen du chargement des camions. En analysant les données, on observe que lorsque le nombre de chariot augmente, le temps moyen du chargement

<i>N^r de chariots</i>	Quai 1	Quai 2	Quai 3	Quai 4	Quai 5
4	22	17	15	19	20
5	15	15	11	17	18
6	12	16	9	13	12
7	9	11	7	11	9

TABLE 3.17 – temps moyen du chargement des camions dans les 5 quais .

des camions diminue.

Interprétation des résultats : L'augmentation du nombre de chariots disponibles entraîne une diminution de temps moyen du chargement des camions. Cela peut s'expliquer par le fait qu'avec plus de chariots, il y a une plus grande capacité de chargement.

3.8 Conclusion

Ce chapitre était dédié à l'élaboration d'un modèle visant à réduire le temps de chargement des camions aux 5 quais. Dans un premier temps, nous avons réalisé une modélisation détaillée du processus de chargement des camions, en utilisant un réseau de Petri coloré. Ensuite, à l'aide de logiciel R nous avons ajusté les lois des données du modèle, puis nous avons évalué les performances du modèle proposé à l'aide du simulateur CPN Tools.

Conclusion générale

Dans notre mémoire, nous sommes penchés sur la problématique de réduire le temps du chargement des camions au niveau des 5 quais du chargement d'huile à l'entreprise CEVITAL.

Pour atteindre cet objectif, nous avons entrepris plusieurs étapes de recherche. Tout d'abord, nous avons consacré la première étape de notre étude à présenter en détail l'entreprise CEVITAL. Nous avons également examiné les notations fondamentales des réseaux de Petri, en fournissant des définitions claires, en discutant des propriétés essentielles et en explorant les extensions possibles de ces réseaux.

Dans la deuxième étape, à l'aide des réseaux de Petri Colorés, nous avons pu construire un modèle qui vise à fournir une représentation plus précise et détaillée de processus du chargement des camions aux quais. Nous avons ajusté la distribution des lois des paramètres de modèles à l'aide de logiciel R.

Le simulateur CPN tools a été mis en profit pour obtenir le nombre moyen de camions dans le système, ainsi que le temps moyen du chargement dans les 5 quais. Nos résultats ont montré que l'augmentation du nombre de chariots réduit le temps moyen du chargement.

En analysant les résultats, nous avons identifié plusieurs mesures qui permettraient de minimiser le temps moyen de séjour des camions :

- fournir plus de chariots pour accélérer le chargement.
- Automatisation de chargement.
- Planification plus avancé des chargements.
- Augmentation de la quantité d'huile produite pour répondre à la demande.

Comme perspective nous envisageons un ensemble de travaux futurs :

- Résoudre le modèle de réseau de petri coloré avec une autre méthode.
- Faire l'étude du système dans le cas du pannes des chariots.

Bibliographie

- [1] A. Boushaba, O. Mohammed, R. Benabbou. *Evaluation des performances des protocoles de routage Ad hoc*.
- [2] A. C. Geniet. *Les réseaux de Petri : Un outil de modélisation*. Spriger-Verlang Berlin Edition 2, 2006.
- [3] A. Idrissi. *How to Minimize the Energy Consumption in Mobile Ad-hoc NetWorks*. Université Mohammed V, Maroc, 2012.
- [4] A. ROUBECHÉ, *Modélisation et étude de performances d'une approche coopérative de gestion des ressources d'un réseau sans fil*. Mémoire de Master, Université de Béjaia, 2012.
- [5] Christophe Pajault. *Model checking parallèle et réparti de réseaux de Petri colorés de haut-niveau. Application à la vérification automatique de programmes Ada concurrents*. Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, 2008.
- [6] D. Boukredera épouse Boularouz. *Les Réseaux de Petri Un outil de Modélisation et d'Analyse des Systèmes Dynamiques à Événements Discret*. Support de cours, 2020.
- [7] Documentation CEVITAL.
- [8] H. Hadjou, L. Taleb. *Évaluation d'une chaîne de production d'huile à base de réseaux de Petri stochastique : Cas de la ligne de conditionnement d'huile CEVITAL*. Mémoire de master, université de Béjaia, 2016.
- [9] H. Keddouh, F. Djouadi. *Évaluation des Performances d'une chaîne de Production via les Réseaux de Petri : Cas de l'Atelier Chaudronnerie de l'Entreprise AMIMIER ENERGIE*. Mémoire Master, Université de Béjaia, 2020.
- [10] H. Kemmacha, L. Alouache. *La haute disponibilité des réseaux (HSRP). Cas d'étude : réseaux LAN de CEVITAL Agro-industrie*. Mémoire Master, université de Béjaia, 2022.
- [11] K. Ait Mouhoub, H. Abdelaziz. *Essai d'analyse du rôle du transport routier des marchandises dans le développement de la chaîne logistique, cas CEVITAL*. Mémoire master, 2021.
- [12] K. Medjber, S. Salhi. *Optimisation du plan de stockage de la chambre froide au niveau de l'entreprise CEVITAL*. Mémoire master, université de Béjaia, 2016.

- [13] L. Adel, I. Rabhi. *Conception et réalisation d'une application de gestion administrative du personnel cas d'étude : CEVITAL agro-industrie*. Mémoire de master, université de Béjaia, 2021.
- [14] L. Berbacha, D. Moussaoui. *Affectation optimale des palettes au niveau de la chambre froide de la margarinerie de CEVITAL*. Mémoire master, université de Béjaia, 2015.
- [15] L. Sadi. *Evaluation des Performances d'un Modèle de Réseau de Petri Stochastique*. Mémoire master, université de Béjaia, 2022.
- [16] M. Abbou, M.A.Abacherif. *Mise en place d'une solution de supervision .cas d'étude : CEVITAL* . Mémoire master, université de Béjaia, 2021.
- [17] M. Brahmi, D. Bouras. *Proposition de plan de distribution de marchandise optimaux. Cas de l'entreprise CEVITAL*. Mémoire master. Université de Béjaia, 2018.
- [18] M. Bourcerie, Réseaux de Petri. *Elaboration pour les systèmes de production Cours et Exercices corrigés.. ellips*.
- [19] N. Bennis : *Les Réseaux de Petri Théorie, propriétés et applications*, Notes de Cours.
- [20] R.Sahli. *Évaluation de performances d'un système des Web services*. Mémoire master, université de Béjaia, 2021-2022.
- [21] S. Guerram, I. Chemmame. *Un environnement graphique pour l'analyse des réseaux de Petri temporels*. Mémoire Master, Université Larbi Ben M'hidi d'oum et Bougli, 2021.
- [22] S. Kendi, MS. Radjef, A. Hamoudi. *Optimisation des réseaux de distribution des produits agroalimentaires : Modélisation et application*. Article, 2020.
- [23] S. Hakmi. *Évaluation des Performances des systèmes Prioritaires à l'aide des Réseaux de Petri Stochastique Généralisés (RdPSG)*. Mémoire de magistère en Recherche Opérationnelle, Université A/Mira de Béjaia, 2011.
- [24] T. Khouallene, Y. Khouallene. *L'impact de Lean management sur la performance de l'entreprise. Cas CEVITALSPA*. Mémoire de master, université de Béjaia, 2021.
- [25] T. Murata. *Petrinets properties, analysis, and application*. *Proceeding of the IEEE*. 77(4), April 1989.
- [26] T.R et M.B. *Le Développement d'un Outil Transformation des Modèles Orientés Aspect vers les Réseaux de Petri, Basé sur la transformation De Graphes*. Thèse de doctorat. Abde Elhafid Boussouf Université centre-Mila, 2018.
- [27] Yann Morère. *support de cours Réseau de Petri*, 2002.
- [28] Y. Mahjoub. *Etude des système de transport public et réseaux logistique par les réseaux de petri colorés et l'algèbre (max,+): modélisation, évaluation de performances et optimisation*. 2019.

Annexes

A Le logiciel R

Dans cette annexe, nous fournissons des exemples de code R utilisé dans le cadre de notre étude pour l'identification des lois.

A.1 Pourquoi utiliser R ?

Tout d'abord R est un logiciel gratuit et à code source ouvert (opensource). Il fonctionne sous UNIX (et Linux), Windows et Macintosh. C'est donc un logiciel multi-plates-formes. Il est développé dans la mouvance des logiciels libres par une communauté sans cesse plus vaste de bénévoles motivés.

C'est aussi un outil très puissant et très complet, particulièrement bien adapté pour la mise en œuvre informatique de méthodes statistiques.

Le logiciel R est particulièrement performant pour la manipulation de données, le calcul et l'affichage de graphiques.

A.2 L'utilisation de R

Voici le code explicatif qui nous a permis d'obtenir les résultats d'ajustement des lois dans notre étude :

Fonction pour effectuer le test d'ajustement aux différentes distributions et tracer les graphiques

```
test-adjustment <- fonction(donnees) {
```

```
  Calcul des fréquences observées
```

```
  freq-obs <- table(donnees)
```

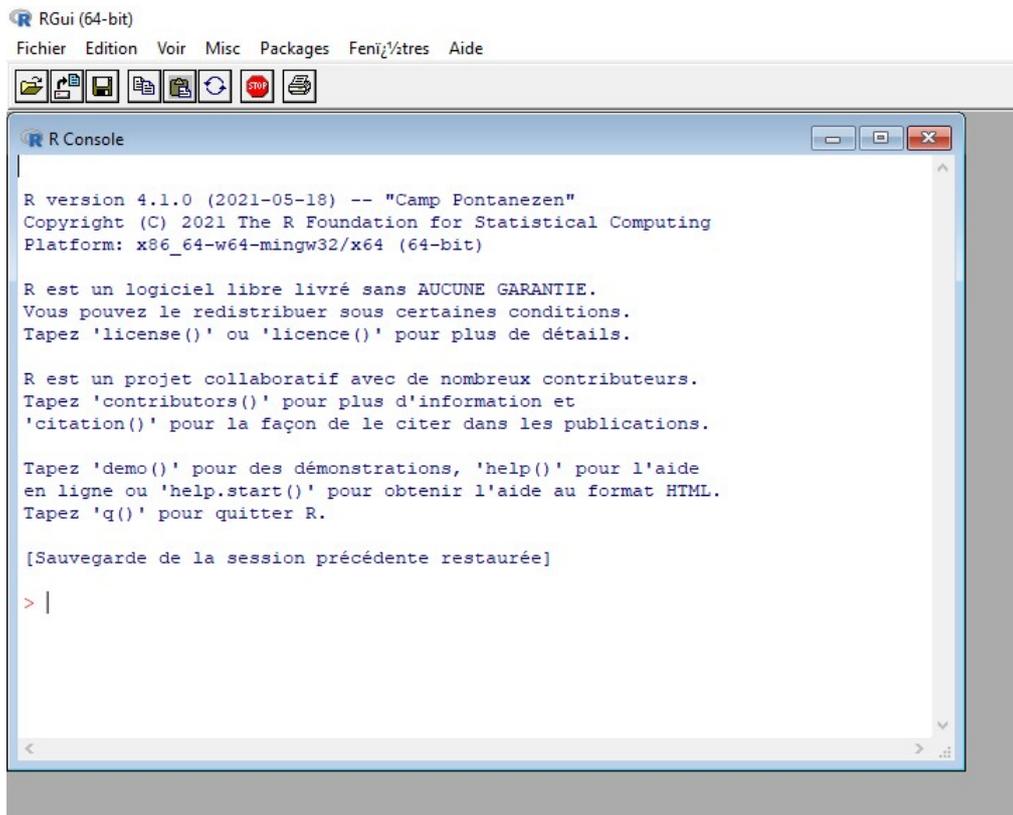


FIGURE A.1 – Illustration de l’interface graphique

Test d’ajustement à la loi de Poisson

```
lambda <- mean(donnees)
n <- length(donnees)
freq-attendues-poisson <- dpois(as.integer(names(freq-obs)), lambda) * n
freq-attendues-poisson <- freq-attendues-poisson / sum(freq-attendues-poisson)
resultat-poisson <- ks.test(donnees, "ppois", lambda)
print("Test d’ajustement à la loi de Poisson :")
print(resultat-poisson)
```

Test d’ajustement à la loi binomiale

```
p-binom <- mean(donnees) / max(donnees)
n-binom <- max(donnees)
freq-attendues-binom <- dbinom(as.integer(names(freq-obs)), size = n-binom, prob =
p-binom) * n
freq-attendues-binom <- freq-attendues-binom / sum(freq-attendues-binom)
resultat-binom <- ks.test(donnees, "pbinom", size = n-binom, prob = p-binom)
print(" nTest d’ajustement à la loi binomiale :")
print(resultat-binom)
```

Test d'ajustement à la loi géométrique

```
p-geom <- 1 / (mean(donnees) + 1)
freq-attendues-geom <- dgeom(as.integer(names(freq-obs)) - 1, prob = p-geom) * n
freq-attendues-geom <- freq-attendues-geom / sum(freq-attendues-geom)
resultat-geom <- ks.test(donnees, "pgeom", prob = p-geom)
print(" nTest d'ajustement à la loi géométrique :")
print(resultat-geom)
```

Tracé des graphiques

```
x <- as.integer(names(freq-obs))
barplot(freq-obs, col = "blue", main = "Distribution des données et lois ajustées",
xlab = "Valeurs", ylab = "Fréquences observées")
lines(x, freq-attendues-poisson * n, col = "red")
lines(x, freq-attendues-binom * n, col = "green")
lines(x, freq-attendues-geom * n, col = "purple")
legend("topright", legend = c("Données observées", "Loi de Poisson ajustée", "Loi bino-
miale ajustée", "Loi géométrique ajustée"),
col = c("blue", "red", "green", "purple"), lty = 1)
}
```

Données

```
donnees <- c(10,12,12,11,14,17,14,10,16,11,14,17,16,12,6,15,12,16,7,4,1,3,17,10,15,11,9,7,6,4)
```

Appel de la fonction avec les données

```
test-adjustment(donnees)
```

Les résultats de manipulation de code sont représentées dans la figure suivante :

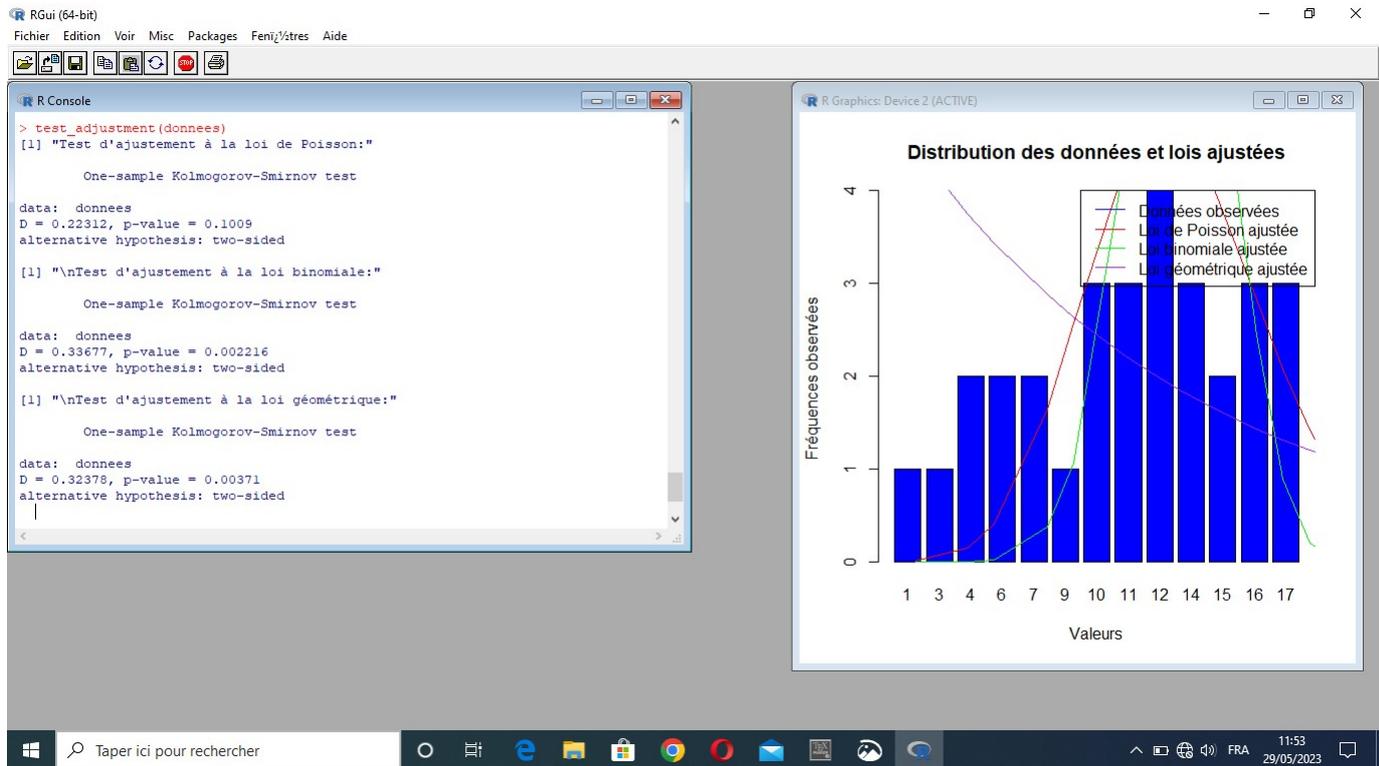


FIGURE A.2 – résultats d'ajustement

B CPN TOOLS

B.1 Définition (CPN TOOLS)

CPN Tools est un outil d'édition, de simulation et d'analyse de réseaux de Petri colorés. L'outil propose une vérification incrémentielle de la syntaxe et la génération de code, qui ont lieu pendant la construction d'un réseau. Un simulateur rapide gère efficacement les filets non chronométrés et chronométrés. Des espaces d'état complets et partiels peuvent être générés et analysés, et un rapport d'espace d'état standard contient des informations, telles que les propriétés de limite et les propriétés de vivacité.

B.1.1 Présentation de l'interface

La figure représente l'interface principale de la plate forme de simulation CPN Tools.



FIGURE A.3 – L'interface de CPN Tools

La colonne de gauche (index) contient une zone qui s'appelle outil . Elle même contient



FIGURE A.4 – la boîte à outils d'index

une liste des Palettes disponibles create(crée), simulation, Pour accéder à une palette d'outils dans l'index faire glisser une palette vers l'espace travail comme la montre la figure A.5

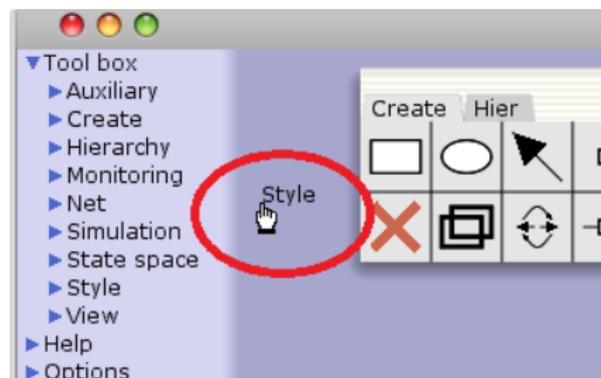


FIGURE A.5 – Palettes d'outils dans l'espace travail

Dans l'image figure A.6 on vas voir tous les palette qui sont disponible dans Outil dans l'espace travail.

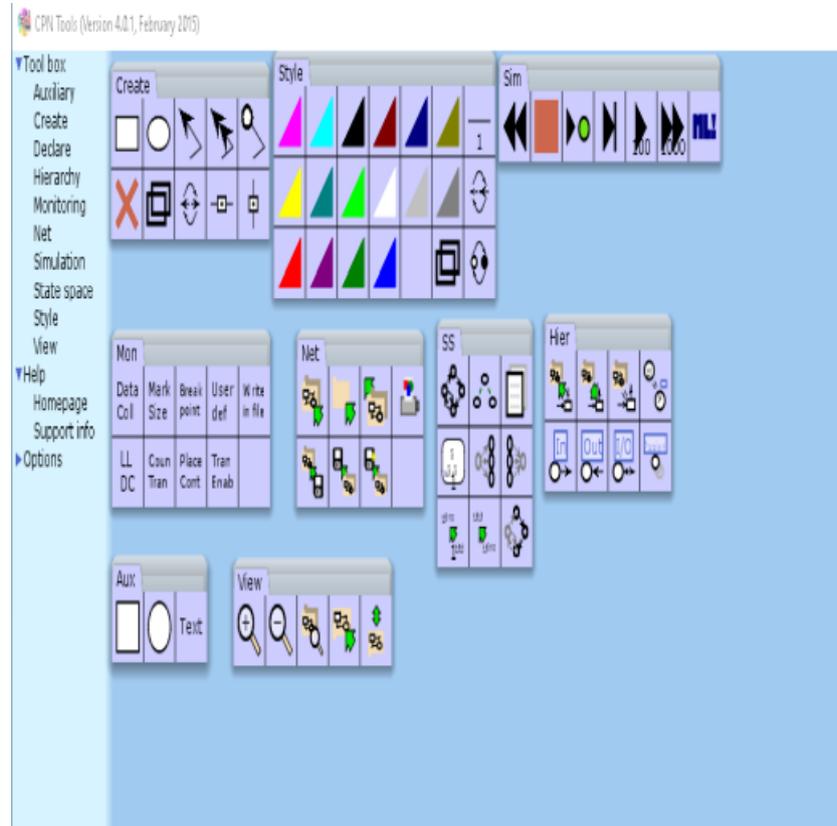


FIGURE A.6 – toutes les palettes dans l'espace travail

B.1.2 Palettes disponibles

Outils auxiliaires : sont utilisés lors de la création d'éléments auxiliaires. Ces éléments n'ont pas de signification sémantique, mais peuvent faciliter la lisibilité du réseau.

-  Créer une boîte auxiliaire
-  Créer une ellipse auxiliaire
-  Créer un texte auxiliaire

FIGURE A.7 – Outils auxiliaires



FIGURE A.8 – Outils de création

Créer une palette d'outils : Les outils de création sont utilisés lors de la création et du travail avec la structure nette de base.

Outils de hiérarchie : Les outils hiérarchique sont utilisés pour modifier la structure hiérarchique de réseau. La palette contient des outils pour la structuration ascendant et descendante du filet.



FIGURE A.9 – Outils hiérarchie

Nets tools : Les outils nets sont utilisé pour charger et sauvegarder des filets et pour ajouter de nouvelles pages aux réseaux existants.



FIGURE A.10 – Outils net

Outils de simulation : Les outils de simulation sont utilisés pour simuler le net. La palette contient également l'outil Evaluate ML pour l'évaluation des inscriptions et des textes auxiliaires.



FIGURE A.11 – Outils de simulation

Outils spatiaux d'état : Les outils de l'espace d'état sont utilisés, par exemple, pour calculer les espaces d'état, transférer des états entre le simulateur et l'outil d'espace d'état et générer des rapports d'espace d'état.



FIGURE A.12 – Outils d'espace d'état

Résumé

L'objectif de notre travail est de réduire le temps séjour des camions au niveau des 5 quais de chargement d'huile à l'entreprise CEVITAL.

On a construit notre modèle en se basant sur les Réseaux de Petri Colorés (RdPC), par la suite on a implémenter ce modèle sur le simulateur " Colored Petri Nets Tools (CPN Tools)", en utilisant les données récupérées durant notre stage au CEVITAL, on a obtenu des résultats satisfaisants en terme de minimisation des temps de chargement des camions. En effet, notre travail peut aider l'entreprise CEVITAL à améliorer l'efficacité des opérations logistiques et de renforcer la compétitivité de l'entreprise sur le marché.

Mots clés : Le temps séjour, Réaux de Petri, Réseaux de Petri coloré, Modélisation , simulateur CPN Tools et Simulation.

Absract

The objective of our work is to reduce the truck turn around time at the 5 oil loading docks of CEVITAL company.

We constructed our model based on Colored Petri Nets (CPNs), and subsequently implemented this model using the "Colored Petri Nets Tools (CPN Tools)" simulator. By using the data collected during our internship at CEVITAL, we achieved satisfactory results in terms of minimizing truck loading times. Indeed, our work can assist CEVITAL in improving the efficiency of logistical operations and enhancing the company's competitiveness in the market.

keywords : The duration of stay, Petri Nets, Colored Petri Net, Modeling, CPN Tools simulater et simulation.