République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira de Béjaia
Département de Recherche Opérationnelle

Mémoire en vue d'obtention de Master

en Mathématique Appliquée

Option :

Modélisation Mathématique et Technique de Décision

Configuration Optimale de la ligne de production, Cas de Général Emballage

Réalisé par : Aichoune Mokrane

Le 12/09/2022, devant le jury composé de :

Dr Y. Ziane	M.C. classe/ A	Président	à l'UAMB - Bejaia.
Dr L. Asli	M.C. classe/ A	Encadrant	à l'UAMB - Bejaia
Dr M. Soufit	M.C. classe/ A	Examinateur	à l'UAMB - Bejaia.
Dr A. Laour	M.A. classe/ A	Examinateur	à l'UAMB - Bejaia.

Année Universitaire 2021 – 2022

Remerciement

Ce n'est pas par tradition que cette page figure au préambule de ce mémoire, mais c'est plutôt un devoir moral et une reconnaissance sincère qui me pousse à le faire.

Mes remerciements s'adressent tout naturellement d'abord à mon promoteur, Dr ASLI LARBI, de l'université de Béjaia, d'avoir accepté de diriger ce mémoire.

Je souhaite lui exprimer ma profonde gratitude pour son accompagnement constant, ses conseils, son soutien, sa disponibilité, ses encouragements, son écoute et sa patience, mais aussi bien pour son enthousiasme et son humour, qui ont été des clés pour réaliser ce travail.

Je remercie également les responsables de l'entreprise Générale emballage de m'avoir accepté au sein de cette dernière.

Je tiens aussi à adresser mes remerciements les plus sincères et mon profond respect à Monsieur ROUABAH HAMID, ingénieur au niveau de entreprise Général Emballage, de m'avoir si bien accueillie au sein de son équipe durant touts les périodes passées au sein du département planification.

Je le remercie infiniment pour m'avoir guidée durant toute l'élaboration de ce travail, avec le sérieux et la compétence qui le caractérise. Je le remercie aussi pour son écoute, ses corrections avisées de mes travaux, sa disponibilité, son encouragement et ces conseils qui m'ont permis d'acquérir une maturité su sante pour continuer dans le chemin de la réalisation du ce mémoire.

Enfin, à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce modeste travail, trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude et mes remerciements les plus sincères.

Dédicace

Je dédie ce travail

A mes très chères parents qui m'ont toujours soutenue tout au long de ma vie, et qui m'ont toujours encourager pour que je réussisse dans mes études.

A ma chère soeur ma petite sœur Tina
A mon compagnon LYAMINE dans les moments les plus délicats de cette vie mystérieuse.
A toute ma famille qui m'ont aider que ça soit de prêt où de loin.

A une personne qui ma o ert un sourire même dans les moments les plus tristes
A tous mes amis Khaled, Ouali, Chrif, Fouad, ...

A toute la famille du Club Scientifique de La Recherche Opérationnelle

A tous qui m'ont aidé de prés ou de loin à réaliser ce Projet de fin d'étude.

Mokrane AICHOUNE

Table des matières

Liste des figures IV
Liste des algorithmes V
Liste des tables VI

Introduction générale **1**

1 Présentation de l'institution et position de problèmes **4**
Introduction 4
1.1 Général Emballage 5
1.2 Localisation 5
1.3 Historique 6
1.4 Organisation de l'entreprise 7
1.4.1 Direction 7
1.4.2 Département 8
1.5 Missions 9
1.6 Processus de production de l'entreprise 10
1.6.1 Matière première 10
1.6.2 Présentation de l'onduleuse 12
1.6.3 Machines de Transformation 14
1.7 Position de du problème 16
Conclusion 16

2 Concepts et préliminaires sur l'optimisation des systèmes de production **17**
Introduction 17
2.1 Système de production 18
2.1.1 Classification des systèmes de production 18
2.2 Lignes de production 19
2.2.1 Termes de base des lignes de production 20
2.2.2 Conception préliminaire des lignes de production 20
2.2.3 Types de lignes de production 21
2.2.4 Principaux décisions dans la production 22
2.3 Généralité sur la théorie des Graphes 23
2.3.1 Graphe de Précédence et graphes d'assemblage 24
2.4 Techniques d'optimisation 28

2.4.1 Méthodes exactes 28
2.4.2 Méthodes Approchées 30
2.5 Complexité 30
2.5.1 Complexité algorithmique 31
2.5.2 Complexité des problèmes d'optimisation 31
Conclusion 32

3 Conception et Modélisation 33
Introduction 33
3.1 Problème d'a ectation 33
3.1.1 Le problème d'a ectation linéaire 34
3.1.2 Le problème d'a ectation généralisé 35
3.2 Problème d'équilibrage 36
3.3 Description du problème au sein de GE 37
3.4 Modélisation 38
3.4.1 Hypothèses et contraintes 38
3.4.2 Formulation mathématique dumodèle 40
Conclusion 42

4 Étude Expérimentale, analyse et recommandations 43
Introduction 43
4.1 Méthode de résolution de l'entreprise 44
4.1.1 Logiciel de plani cation et contrôle de la production utilisé par Général Emballage (PC-Topp) 44
4.1.2 Processus de programmation sur PC-Top 44
4.2 Résolution du modèle de Miralles 46
4.2.1 Bornes Inferieures 46
4.2.2 Outils de résolution 47
4.3 Algorithme proposé 50
4.3.1 Règles de priorité 50
4.3.2 Notation 51
4.3.3 Principe et étapes de l'algorithme 52
4.4 Exemple numérique de résolution du Modèle 55
Conclusion 59

Conclusion générale 60

Bibliographie 63

Résumé 63

Table des gures

1.1 Localisation de l'entreprise Général Emballage 5
1.2 Organigramme de l'entreprise Général Emballage 7
1.3 Les di érant produits de Général Emballage 10
1.4 Pro l de la cannelure 12
1.5 L'onduleuse 13
1.6 organigramme de l'emplacement des machine au niveau de Général emballage 15

2.1 Système de production 18
2.2 Caractéristique d'une tâche 20
2.3 Décomposition d'un système de production 22
2.4 Exemples des types de Graphes 24
2.5 Produit didactique P. 25
2.6 Ensemble d'arbres d'assemblage admissibles pour le produit P. 26
2.7 Ensemble d'arbres d'assemblage ordonnés linéaires du produit P 26
2.8 Graphes d'assemblage du produit P 27
2.9 Graphes de précédence pour le produit P 28

3.1 illustrant les di érentes étapes de transformation de chaque type de produits 39
3.2 Relation de précédence entre les machines après l'a ectation de l'opération 1 (Borba et Ritt, 2012) 42

4.1 Commande plaques 44
4.2 Programmation de onduleuse 45
4.3 programmation dans la machine de transformation 45
4.4 le choix de machine sur PC-TOP 46
4.5 Évolution machines 47
4.6 IBM ILOG CPLEX 48
4.7 Graphe de précédence 55
4.8 Solution Finale 57
4.9 Graphe de précédence entre opérateurs nal 58

Liste des Algorithmes

Liste des tableaux

1.1 Tableau Des appellations autres peuvent exister N.S.O. 12

3.1 dé nissent les di érents notations 40

4.1 Résultats des instances générées aléatoirement 49
4.2 Résultats des instances Roszieg 49
4.3 Résultats des instances Heskia 50
4.4 Résultats avec heuristique (Avec RP_{w1}) 58
4.5 Résultats avec heuristique (Avec RP_{w2}) 58

Introduction générale

Il n'est plus question aujourd'hui de négliger la présence du facteur gestion dans les organisations et les systèmes de production de biens et de services. En e et, la plani cation est devenue une composante décisionnelle essentielle qui in uence profondément la productivité de l'entreprise.

La recherche opérationnelle est une discipline qui vise l'amélioration du fonctionnement des institution et entreprises, en appliquant des méthodes scienti ques pour résoudre les problèmes complexes rencontrés dans la gestion de systèmes, de machines, de matériaux et d'argent.

Conscients de ce fait, plusieurs chercheurs se sont intéressés à la gestion de la production et en particulier à la problématique d'a ectation. Dans cette dernière, se cache en réalité un ensemble de problèmes variant en fonction de l'objectif d'optimisation, des contraintes prises en compte. . .

GÉNÉRAL EMBALLAGE(GE), l'institution dans nous avons e ectuer notre stage, est leader en Algérie de l'industrie du carton ondulé. L'une des entreprise qui a très tôt misé sur l'application des approches scienti ques, de ce fait, GÉNÉRAL EMBALLAGE se trouve confrontée à une forte mutation de son environnement se traduisant par une demande qui ce multiple, des clients de plus en plus exigeante dans la qualité du produit et les délais de livraisons.

Le principal problème rencontré à Général Emballage est un problème qui survient dans la plupart des entreprises productives. Ce problème consiste à la plani cation de la production qui peut être dé ni comme étant un ensemble de décisions, qui doivent être prises à court et à moyen terme a n de convertir la matière première en produits nis prêt à l'expédition.

Les problèmes d'a ectation des ressources font partie des problèmes industriels que les entreprises doivent résoudre a n d'améliorer leurs performances. Ils consistent à déterminer les ressources à a ecter à une machine pour réaliser une ou plusieurs tâches durant une période de temps donnée (Mahdavi et al. 2010, Xu et al. 2011)[9]. Les problèmes d'a ectation des ressources sont souvent NP-complet qui sont di cile à aborder (Siraborovetnukul and Chutima 2010 and Mahdavi et al. 2010)[9].

Au sein des systèmes de productions, Les ressources doivent souvent être exibles, d'une manière qu'elles puissent se déplacer et être a ectés, selon l'état actuel du système, entres les di érentes machines et traiter (Norman et al., 2002 et Yue et al., 2008)[7]. Dans ce cas, des contraintes liées à la exibilité des opérations, et d'autres liées aux événements aléatoires qui surgissent s'ajoutent aux critères industriels classiquement considérés (coût, délais, pénibilité), ce qui augmente d'avantage la complexité du problème d'a ectation(Gruat-la-forme et Botta-Genoulaz, 2007)[7].

L'exploration d'une solution consiste à trouver, pour un type de système de production xé, sa con guration optimale. Le nombre d'éléments à prendre en considération rend cette recherche extrêmement complexe. D'autant plus que l'examen d'une con guration possible doit être su samment précis a n de véri er sa cohérence, sa faisabilité. Ainsi la comparaison des con gurations optimales trouvées pour les di érents types de systèmes d'usinage permet de prendre la décision sur l'organisation de la fabrication du produit.

Le problème d'a ectation des ressources dans la ligne de production, que nous étudions dans ce mémoire, apparaît à l'étape de sa con guration. Ce problème a comme objectif de répartir les ressources, qui sont nécessaires pour la fabrication des produits, à des machines de transformation tout en respectant un ensemble de contraintes technologiques, économiques ou autres. Pour évaluer la qualité de chaque solution, un certain nombre de critères est formulé. Ainsi un problème d'a ectation peut être décrit par ces cinq éléments (le type et le nombre de lignes à con gurer, les tâches à e ectuer, les machines à con gurer, les contraintes à respecter et les critères à optimiser).

Ce manuscrit est organisé comme suit :
Après une cette introduction, mettons l'accent sur le contexte et l'environnement de la problématique, le premier chapitre sera consacré : sur la présentation de l'organisme où nous avons e ectué notre stage, à savoir : le décret de création, la catégorie social, la structure, le département du stage et les missions. Ce chapitre termine par la confection de la problématique qui sera aborder.

Le deuxième chapitre englobe : des diverses notions et dé nitions essentielles pour aborder le problème traité dans ce mémoire. Il contient aussi quelques dé nitions de la complexité des problèmes d'optimisation combinatoires, aussi quelques dé nitions et concept de base sur la théorie des graphes. nous donneront à la fois quelques techniques générales de la recherche opérationnelle pour la résolution, pour permettre une meilleure compréhension de la méthode utiliser dans ce travail.

Le troisième chapitre est réservé à une vue générale où nous présentant les problèmes d'a ectation et la conception et la modélisation. Un état de l'art couvrant les travaux de recherche menés sur les problèmes statiques et déterministes d'a ectation sous contraintes de précédence. Cet état de l'art nous permettra de bien positionner la problématique. Ce

qui nous permettra de développer un modèle qui répond au exigences de l'entreprise.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude expérimentale, ainsi qu'à la discussion du modèle construit et à la proposition de la solution du problème. Où nous développons un algorithme d'optimisation glouton. Un algorithme qu'est initialement conçu pour l'optimisation continue, mais qui a récemment fait l'objet de quelques adaptations pour résoudre les problèmes d'optimisation discrets, en particulier les problèmes d'a ectation et donné de bons résultats.

En n, nous concluons ce manuscrit par l'énumération des contributions apportées, et les objectifs atteints dans ce travail, ainsi qu'un ensemble de perspectives.

1

Présentation de l'institution et position de problèmes

Le carton ondulé inventé en 1856 pour fabriquer des chapeaux, le fruit du travail de deux britanniques : Healley & Allen. La première utilisation de ce matériau en tant qu'emballage a eu lieu aux Etats-Unis en 1871, pour emballer des objets fragiles tels que des bouteilles.

Général Emballage est l'une des premières entreprises les plus performantes dans l'industrie de la fabrication et la transformation du carton ondulé destiné à l'emballage en Algérie. Dans ce présent chapitre, nous allons présenter des informations à propos de cette entreprise, ces activités, son historique ainsi que sa situation géographique.

Sommaire

Introduction 4
1.1 Général Emballage 5
1.2 Localisation 5
1.3 Historique 6
1.4 Organisation de l'entreprise 7
1.5 Missions 9
1.6 Processus de production de l'entreprise 10
1.7 Position de du problème 16
Conclusion 16

1.1 Général Emballage

Général Emballage est leader Algérien en l'industrie du carton ondulé. il fabrique, à la commande, des plaques double- face (cannelures B, C, E et F) et double-double (BC et BE), des emballages et des displays.

Une société par action au capital de deux (02) milliards de Dinars Algériens. Entré en exploitation en 2002, l'entreprise dispose actuellement d'un siège social et de deux unités de production implantées à Akbou, Oran et Sétif.

1.2 Localisation

La SPA Général Emballage est implantée au niveau de la zone d'activité de Taharacht, sitée à 2.5 km au Nord-est du chef-lieu de la commune d'Akbou. D'une super cie de 24ha, cette zone est un véritable carrefour économique vu le nombre d'unités industrielles qui exercent dans di érents domaines.

Figure 1.1 Localisation de l'entreprise Général Emballage

1.3 Historique

Suite au opportunités et les encouragement de l'état Algérienne dans l'investissement industriel, plusieurs entreprises privées sont nées, Général Emballage est l'une d'elles.

Cette société de nature juridique Sarl a été créé le 01 août 2000 par décision APSI N°13051 du 06 juin 1998 à la zone d'activités Taharacht, Akbou, Bejaia par Messieurs Mohand et Ramdane BATOUCHE avec un capital social de départ de 32 millions de dinars algeriens. Les travaux de construction de bâtiment ont débuté en août de la même année et sont réalisés par des entreprises algérienne. En 2002, les équipements de fabrication importés d'Espagne furent installés, la société qui a commencé à fabriquer ses premiers produits en juin 2002.

2002 : Entrée en production de l'usine d'Akbou avec un e ectif de 83 employés.

2005 : Le capital de l'entreprise a été porté à 70 millions de dinar algérien.

2006 : Le capital est porté à 150 millions de dinars.

2007 : Le capital est porté à 1,23 milliards de dinars, Entrée en production de l'usine de Sétif, l'acquisition Trophée de la Production (Euro-Développement PME).

2008 : Début d'exportation vers la Tunisie, Entrée en exploitation de l'unité d'Oran.

2009 : Augmentation du capital à 2 milliards de DA et entrée du partenaire MAGHREB PRIVATE EQUITY FUND II Cyprus II (MPEF II) avec une participation de 40% Général Emballage devient une société de capitaux (Société par actions).

2012 : Les capacités de production sont portées à 130.000 tonnes, L'usine d'Oran est transférée à la ZI Hassi-Ameur, Production des premiers ouvrages en haute résolution, Signature d'une Convention cadre de partenariat avec l'Université de Béjaia, Notation COFACE @@@ .

2013 : Certi cation ISO 9001 :2008, Démarrage de la 1ère promotion de Licence en Emballage Qualité à l'Université de Béjaia.

2014 : Signature d'un protocole d'accord de recrutement avec l'Agence Nationale de l'Emploi (ANEM), Début des exportations vers la Libye.

2015 : Entrée en production de la nouvelle usine de Sétif à ZI Ain S ha, Prix d'encouragement du Trophée Export 2014 (World Trade Center (WTCA).

2016 : 1ere exportation en Espagne, Sortie de Maghreb Private Equity Fund et entrée de Development Partners International (DPI) et de la Deutsche Dation Investitions und Entwicklungsgesellschaft mbH (DEG) à hauteur de 49% du capital social.

2018 : Notation COFACE @@@, Certi cation ISO 9001 Version 2015.

2019 : Première expédition sur la Belgique, Première exportation sur la France, Distinguée comme entreprise inspirante pour l'Afrique dans le Rapport Compagnies to inspire Africa 2019 du London Stock Exchange Group (Bourse de Londres).

2020 : Certi cations ISO 14001 :2015 et ISO 45001 :2018

1.4 Organisation de l'entreprise

L'entreprise a adopté une démarche marketing et commercial, qui est focalisée autour de la demande ; c'est-à-dire, la satisfaction et la délisation de la clientèle en recherchant l'excellence de la qualité des produits. L'organisation de l'entreprise est représentée selon l'organigramme illustré par la gure suivante :

Figure 1.2 Organigramme de l'entreprise Général Emballage

1.4.1 Direction

1. La Direction Générale :
   Elle veille à l'élaboration de la politique générale de la société. Elle est chargée de coordonner et de contrôler les principales structures de la société, ainsi que le suivi des budgets et les plans de développement.
2. La Direction Commerciale :
   Elle assure le suivi des commandes clients et exprime les besoins de formation de chaque agent de la fonction vente. Elle etudie et suit l'évolution et les tendances des marchés et recherche des nouveaux segments de marché et dé nie toutes conditions

pour les satisfaire, fédiliser les nouveaux clients et procéder aux recouvrement des créances.

3. La Direction Finance et Comptabilité :
   La direction des Finances et Comptabilité aide à dé nir les principaux objectifs de la société et veille à l'exécution de la politique nancière de la société.
4. Direction Qualité et Développement RH :
   La gestion des ressources humaines est la fonction organisationnelle qui s'occupe du recrutement, de la gestion, de perfectionnement et de la motivation du personnel, y compris de fournir du soutien et des systèmes fonctionnel et spécialisé pour favoriser la participation des normes liées à l'emploi et aux droits de la personne.

1.4.2 Département

1. Département Approvisionnements :
   Il assure la mission d'achat des matières nécessaires, il assure aussi la mission de gestion des stocks des matières premières.
2. Département Maintenance :
   Il s'occupe de l'entretien et de la maintenance des onduleuses. Il est chargé d'organiser, de coordonner et de contrôler l'ensemble des actions liées à l'exploitation des machines.
3. Département Technique :
   Il assure le pilotage de la structure technique sous tous ses aspects : technique, production, maintenance et il supervise l'activité de la maintenance.
4. Département Finance et Comptabilité :
   Il a pour rôle la tenue de la comptabilité de l'entreprise, la gestion de la trésorerie (dépenses, recette et placement), la tenue des inventaires, le contrôle de gestion(comptabilité analytique et le contrôle budgétaire).
5. Département Production :
   La gestion de production est la mise en application de méthodes et techniques dans le but d'accomplir la transformation de matière première en produits nis. Elle se résume en la combinaison de ressources, parmi lesquelles les moyens matériels (les machines), les moyens humains (le personnel par quali cation) et les matières (matière première, les matières consommables) dans un planning avec, pour but d'assurer la fabrication du produit en qualité et en quantité bien dé nies.

6. Service Programmation :

- Plani cation Onduleuse
  Consiste en l'établissement d'un programme de production optimisé (déchet minimal avec un minimum de changement du papiers) destiné à l'atelier ondulation, basé sur le ensemencement des commandes (plaques et transformations) désigné par les délais de livraisons et charge machines de transformation tout en véri ant la disponibilité de la matière première (qualité du papier et laize) avec laquelle le programme doit être réalisé.
- Plani cation Transformation
  Il s'agit d'établir un programme tenant compte des délais de livraison sous d'autres critères tels que les nuances des encres et les charges machines. Le lancement de la production de la plaque destinée à la transformation ne se fait qu'après véri cation de la disponibilité des accessoires (Clichés et Moules).
  Établissement du rapport de production
  Le retour d'information étant assuré par le logiciel PC-TOPP sur la base des programmes onduleuse et transformation jadis transmis, leurs réalisations se nalise par un rapport de production ainsi que le FLASH de production qui seront établis et transmis à la direction.

1.5 Missions

La mission de Général Emballage est de satisfaire sa clientèle de plus en plus exigeante en matière d'emballage et de plaques en carton ondulé.

La gure suivante illustre les di érant produits fabriquées dans l'entreprise

Figure 1.3 Les di érant produits de Général Emballage

1.6 Processus de production de l'entreprise

1.6.1 Matière première

Le papier

Le papier est une matière à base cellulose, faite de bres végétales réduite en une pâte homogène que l'on étend et sèche a n de former des feuilles minces. GE importe cette matière première sous forme de bobines chez plusieurs fournisseurs. Il est stocké à l'entreprise sous forme de di érentes bobines, chaque bobine possède une che technique qui comporte les informations suivantes :

. Le grammage (g /m2).
. Le poids (Kg)
. Laize (mm).
. Numéro de bobine.
. Nom du fournisseur.
. Type du papier.

Stockage de bobines de papier

Type de papier

Général Emballage utilise plusieurs types de papier parmi ces types on trouve :

- Kraftliner : papiers à base de bres neuves obtenues par un procédé chimique au sulfate ou à la soude, et pouvant incorporer des bres recyclées.
- Simili Kraft : papier d'emballage imitant le kraft, mais de résistance moindre .
- Fluting : C'est un papier pour cannelure. Il englobe principalement les papiers composés de bre recyclée. Cette catégorie contient également le papier fabriqué avec de la pâte chimique et de la pâte mi-chimique .
- Tesliner : papiers à base de bres recyclées dont les grammages sont compris entre 90 et 250 g/m2.

La colle

La performance de la structure dépend étroitement de la qualité du collage. Les colles utilisées pour le collage couverture/cannelure sont à base d'amidon. Déposé sur les sommets des cannelures, l'amidon se gélatinise sous l'e et de la chaleur assure l'assemblage des papiers. Pour un carton simple cannelure, le dépôt de colle sec est de 10 à 30 g/m2.

Pour la préparation de la colle d'amidon, l'entreprise utilise l'(amidon, le borax, la soude, l'eau adoucie)

Généralités sur le carton et le carton ondulé

Le carton ondulé est constitué d'une ou plusieurs feuilles de papier cannelé collé sur une ou plusieurs feuilles cartonnées (feuilles du papier couvertures).

la gure suivante illustre les types du carton que l'entreprise fabrique