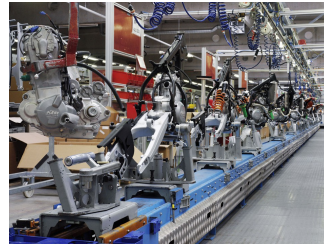


RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA DE BÉJAÏA



FACULTÉ DES SCIENCES EXACTES
DÉPARTEMENT DE RECHERCHE OPÉRATIONNELLE
MÉMOIRE DE MASTER

FILIÈRE : MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES
OPTION : MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET TECHNIQUES DE DÉCISION



Thème

ANALYSE, MODÉLISATION ET OPTIMISATION DE L'ÉQUILIBRAGE DE LA
CHAÎNE D'ASSEMBLAGE À L'ENTREPRISE VMS INDUSTRIE : UNE
ÉTUDE DE CAS EN VUE D'AMÉLIORER LA PRODUCTIVITÉ

Présenté par :
GATER SAID

Soutenu devant le jury composé de :

<i>Président</i>	Dr TOUCHE NASSIM	M.C.A	U. A/MIRA BÉJAÏA
<i>Rapporteur</i>	Pr AISSANI DJAMIL	Professeur	U. A/MIRA BÉJAÏA
<i>Co-Rapporteur</i>	Dr HAKMI SEDDA	M.C.B	U. A/MIRA BÉJAÏA
<i>Examinatrice</i>	Dr BOUIBED KARIMA	M.C.B	U. A/MIRA BÉJAÏA
<i>Invité</i>	Mr HALFAOUI FOUAD	Res.Méthode VMS INDUSTRIE	

Promotion 2022 – 2023

Remerciements

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance et ma profonde gratitude envers les personnes suivantes qui ont contribué à la réalisation de ce travail :

Tout d'abord, je souhaite remercier mon encadreur, le Professeur Aissani Djamil, d'avoir accepté de diriger ce travail, pour son soutien constant et ses précieux conseils. J'adresse également mes remerciements à Madame Hakmi Sedda, ma co-promotrice, pour sa qualité d'encadrement, sa disponibilité, son soutien et ses orientations tout au long de cette étude.

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers M. L. Asli pour ses précieux conseils, ainsi qu'à M. Fouad Halfaoui, responsable du bureau Méthode. Je souhaite également remercier toute l'équipe du bureau Méthode à VMS industrie pour m'avoir accueillis au sein de leur équipe et pour l'aide précieuse qu'ils m'ont apportée.

Enfin, mes vifs remerciements s'adressent aux membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en examinant ce travail. Soyez assurés de ma respectueuse considération.

DÉDICACES

Je dédie ce mémoire :

À mes parents pour leur amour inestimable, leurs sacrifices, leur confiance, leur soutien et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer.

À mes deux grand-mères pour toute l'affection qu'elles m'ont donnée et leur précieux encouragement.

À mes sœurs.

À tous mes amis de la chambre J501.

À toute l'équipe du club scientifique SCOR.

Table des Matières

Table des Matières	i
Table des Figures	iv
Liste des Tableaux	iv
Introduction Générale	2
1 Présentation de l'organisme d'accueil	4
Introduction	4
1.1 Description de l'entreprise VMS	4
1.2 Gamme de produits	5
1.3 L'environnement de la société	5
1.4 Missions et objectifs de l'entreprise VMS	6
1.4.1 Missions	6
1.4.2 Vision	6
1.4.3 Valeur	6
1.5 La structure organique de l'entreprise VMS	7
1.6 Processus et chaînes de production de l'entreprise	8
1.6.1 Les différentes lignes de production	8
1.6.2 Processus de production	9
1.7 Position du problème	16
Conclusion	17
2 Généralités sur l'optimisation combinatoire et les approches de résolution	18
Introduction	18
2.1 Optimisation combinatoire	18
2.1.1 Formulation mathématique des problèmes d'optimisation	19
2.1.2 Problèmes classiques d'optimisation combinatoire	19
2.2 Problème SALBP	20

2.2.1	Définition du SALBP	21
2.2.2	Classification des problèmes SALBP	22
2.2.3	Formulation mathématique du SALBP	22
2.2.4	Les objectifs de SALBP	23
2.3	Problème d'affectation	24
2.3.1	Définition d'un problème d'affectation	24
2.3.2	Formulation mathématique :	24
2.4	Méthodes de résolution	25
2.4.1	Méthodes exactes	26
2.4.2	Méthodes approchées	26
2.5	Logiciels d'optimisation	26
	Conclusion	27
3	Modélisation et Résolution	28
	Introduction	28
3.1	Collecte des données	28
3.2	Ligne de production 01	31
3.3	Modélisation du problème d'équilibrage des postes	32
3.4	Élaboration du modèle 01	33
3.4.1	Résultat	34
3.4.2	Interprétation des résultats	35
3.4.3	Analyse des résultats	36
3.5	Élaboration du modèle 02	37
3.5.1	Résultat	38
3.5.2	Interprétation des résultats	39
3.6	Modélisation du problème d'affectation	39
3.7	Elaboration du modèle	40
3.7.1	Résultat	41
3.7.2	Interprétation des résultats	41
3.8	Améliorations apportées au processus de production	42
3.9	Amélioration en terme des quantités produites	43
	Conclusion	43
A	Annexe	46
A.1	Tableau des compétences des ouvriers	46
A.2	Déroulement CPLEX	47
A.3	Déroulement Excel	52

Annexes

46

Table des figures

1.1	Organigramme de l'entreprise d'accueil.	7
1.2	Unité de production Toudja	10
1.3	Le modèle scooter "Driver"	11
3.1	Graphe de précedence.	30
3.2	Phases de production	32
3.3	Les temps d'exécution avant l'équilibrage.	36
3.4	Les temps d'exécution après l'équilibrage.	36
3.5	Les temps cumulés des postes avant l'équilibrage.	42
3.6	Les temps cumulés des postes après l'équilibrage.	42
A.1	Fenêtre principale du Solveur CPLEX.	47
A.2	Données collecté à VMS.	48
A.3	Données collecté à VMS.	48
A.4	Création du projet OPL.	49
A.5	Insertion de notre modèle mathématique.	50
A.6	Création d'un lien entre le modèle et excel.	50
A.7	Résultat de la résolution.	51
A.8	Résultats de l'affectation.	51
A.9	Fenêtre du solveur Excel.	52
A.10	Tableau des compétences.	53
A.11	Matrice des variables de décision, les contraintes et la fonction objectif.	53
A.12	Insertions de la fonction objectif, les variables de décision et des contraintes.	54
A.13	Choisir la méthode "Simplex PL" et cliquer sur résoudre.	55
A.14	Petit rapport sur la solution trouvée.	55
A.15	Résultat de la résolution avec le solveur.	56

Liste des tableaux

1.1	Fiche technique du modèle scooter Driver	12
2.1	Type de problème d'assemblages simple (SALBP).	22
3.1	Tableau des durées des tâches et leur antériorité.	29
3.2	Tableau des compétences.	31
3.3	Résultats de l'affectation des tâches aux différents postes.	35
3.4	Résultats de l'affectation des tâches aux différents postes.	39
3.5	Résultats des affectations des agents aux différents postes.	41
A.1	Tableau des compétences des agents pour chaque tâche.	46

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans le contexte actuel, la concurrence entre les firmes est très forte. Elles visent toutes à accroître leur part de marché. Pour cela, elles doivent améliorer et optimiser leurs processus de production afin de satisfaire les demandes du marché, tout en respectant les contraintes de coûts et de rentabilité. L'optimisation de la chaîne d'assemblage constitue un enjeu crucial pour ces entreprises. L'équilibrage de cette chaîne permet de réduire les temps d'attente entre les postes et d'augmenter les volumes de production.

Équilibrer une chaîne de montage consiste à répartir les tâches de manière équilibrée entre les différents postes de travail pour optimiser la productivité globale. Cependant, cette tâche peut être complexe en raison de la variabilité des tâches, du temps d'exécution, des compétences de l'opérateur et des limitations techniques. C'est le cas de la chaîne de production au niveau de l'entreprise VMS Industrie (VIVA MOTOR SAIGH).

VMS Industrie est une entreprise de fabrication de motos, elle propose une gamme variée de produits, allant du scooter au quad, en passant par la moto et le tricycle. L'entreprise vise à offrir des produits de qualité, adaptés aux besoins des clients algériens, et à contribuer au développement économique et social du pays.

Plusieurs études ont été menées dans le domaine de la production, où diverses approches ont été utilisées pour résoudre ces problématiques. Par exemple, dans le contexte de l'entreprise AMIMER ENERGIE, les réseaux de Petri ont été employés pour évaluer les performances d'une chaîne de production [1]. Dans le cas de l'entreprise Ifri, l'accent a été mis sur l'ordonnancement et l'affectation des tâches du cycle de production [2]. De même, l'entreprise Général Emballage s'est concentrée sur la planification des besoins en composants [3]. Ces travaux ont contribué à améliorer la compréhension des processus de production et à proposer des solutions plus efficaces et efficientes pour ces entreprises.

L'objectif de notre travail est de minimiser les temps morts en synchronisant les opérations

sur les postes de travail et à maximiser les quantités produites en optimisant l'affectation des tâches à la société VMS Industrie, plus précisément sur l'une de leurs chaînes de production située dans l'unité de Toudja. Nous nous intéressons particulièrement à une méthode d'équilibrage de chaîne d'assemblage connue sous le nom de méthode SALBP-02 (Simple Assembly Line Balancing Problem).

Organisation du document

Ce mémoire est composé :

- D'une introduction générale où le sujet à traiter est exposé.
- De trois chapitres :
 - Le premier chapitre est dédié la présentation de l'entreprise d'accueil, ses différents produits et l'explication des différentes étapes pour l'assemblage d'une moto.
 - Dans le deuxième chapitre, nous allons présenter quelques notions sur l'optimisation combinatoire, en mettant l'accent sur le problème simple d'équilibrage d'une chaîne d'assemblage (SALBP) et le problème d'affectation, ainsi que les méthodes de résolution associées.
 - Le dernier chapitre de ce travail, est consacré a la présentation et l'analyse de nos deux modèles, l'un pour le problème d'équilibrage des lignes d'assemblage et le deuxième modèle est sur le problème d'affectation du personnel. Les résultats numériques sont obtenus en utilisant le logiciel CPLEX et le Solveur d'Excel.
- Et d'une conclusion générale qui donne un bilan de notre travail et une idée sur les perspectives envisagées.

1

PRÉSENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL

Introduction

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la description de l'entreprise VMS Industrie. Nous allons présenter les gammes des produits et décrire l'environnement, la structure organique, les objectifs ainsi que les missions de la firme. Une partie sera consacrée pour le système de production, où nous allons détailler le processus de production ainsi que les différentes lignes de production.

1.1 Description de l'entreprise VMS

L'activité de VMS INDUSTRIE a commencé à germer depuis 2006, par le lancement de l'importation et la commercialisation des cycles et motocycles sous le sigle VIVA MOTOR ALGERIE. VMS INDUSTRIE a été créée en 2014, par les deux frères associés, avec un capital social ayant atteint les 700 000 000 DZ. Une usine d'une capacité de 50 000 unités/an, dont le siège social est transféré et entré en exploitation en 2018, au niveau de la ZAC LARBAA dans la commune de TOUDJA, Wilaya BEJAIA.

VMS INDUSTRIE n'a lésiné sur aucun effort, pour être à l'écoute du marché, en mettant les moyens adéquats (communication, formations, service après-vente) pour atteindre des niveaux de croissance appréciables.

VMS INDUSTRIE veille à la satisfaction de ses clients à travers une veille commerciale et technologique ainsi que la mise en place d'un Système de Management de la Qualité pour la Certification ISO 9001 version 2015 et en termes de conformité aux exigences de la sécurité, VMS INDUSTRIE a opté pour la certification ISO/CEI 17020 [4].

1.2 Gamme de produits

VMS compte parmi ces produits trois catégories :

- Scooter : V MAX, Driver, Cuxi ...
- Moto à vitesse : RK 200, C-Light, K-Light ...
- Tri cycle : Spcs, griz, dtr-6...

1.3 L'environnement de la société

Le réseau de distribution :

Actuellement est composé de plus de 80 concessionnaires et distributeurs répartis sur 38 wilayas. Ce réseau reste toujours extensible en fonction de l'augmentation de sa production, dont la demande est sans cesse croissante surtout en période de haute saison. Ce réseau de distribution assure aussi le service après-vente ainsi que la disponibilité de pièces de rechange d'origine et les équipements de sécurité adéquats.

En plus de la commercialisation réalisée par le réseau de distribution, la SARL VMS INDUSTRIE fournit des motocycles à plusieurs organismes d'état dans le cadre des marchés publics (ONID, ADE sur trente wilayas, EPIC NETCOM, ALGERIE TELECOM, ALGERIE POSTE, CYCMA, EPIC ALGER CENTRE, DAS et DAL ANNABA, EPIC MITIDJA IN-ARABLIDA, APC EL HARRACH, EPIC EXTRANET, etc).Et certaines entreprises (ADC PEPSI, FRUITAL SPA COCA et CONDOR)

Les partenaires :

En plus du label VMS, l'entreprise fabrique d'autres marques (KEEWAY BENELLI, LIN-HAI) dont la relation avec ces firmes est régie sous forme de partenariat (Technologique) ;

- BENELLI : est une entreprise italienne fondée en 1911 à PESARO qui a commencé à produire des moteurs de 75 et 78 CC qui ont leurs preuves lors des championnats du monde de RALLYE.
- KEEWAY : est une marque Européenne d'origine Hongroise qui donc appartient au groupe QIANG JIANG et est présent dans beaucoup de marchés européens (France, Italie, Espagne etc.)
- LINHAI : est une entreprise publique-privée Chinoise créée en 1956 et a débuté son activité dans le matériel agricole. En 1990 elle s'est associée à YAMAHA chose qui lui a permis d'adapter la même technologie et produire des motocycles de qualité supérieure lui ayant permis une compétitivité sur le marché mondial.

Les concurrents :

VMS compte entre ces concurrent Sym, AS motors, SAM.

1.4 Missions et objectifs de l'entreprise VMS

1.4.1 Missions

- Participer au développement économique de notre pays.
- Offrir à ses clients une mobilité avec un meilleur rapport Qualité et Prix.
- Œuvrer pour un produit 100 % Algérien.

1.4.2 Vision

- Être le leader du marché algérien dans le domaine de la production.
- Contribuer au transfert de technologie via des partenaires étrangers.
- Répondre aux besoins de toutes les strates sociales.

1.4.3 Valeur

- Entreprise citoyenne.
- Motivation.
- Innovation.
- Être le meilleur dans le domaine de la fabrication de motocycles.
- Compétitivité.
- Efficacité.

1.5 La structure organique de l'entreprise VMS

La Sarl VMS Industrie est constituée d'une direction générale, un assistant de direction et 06 services, 03 directions comprenant chacune une ou plusieurs sections représentées dans l'organigramme de l'entreprise.

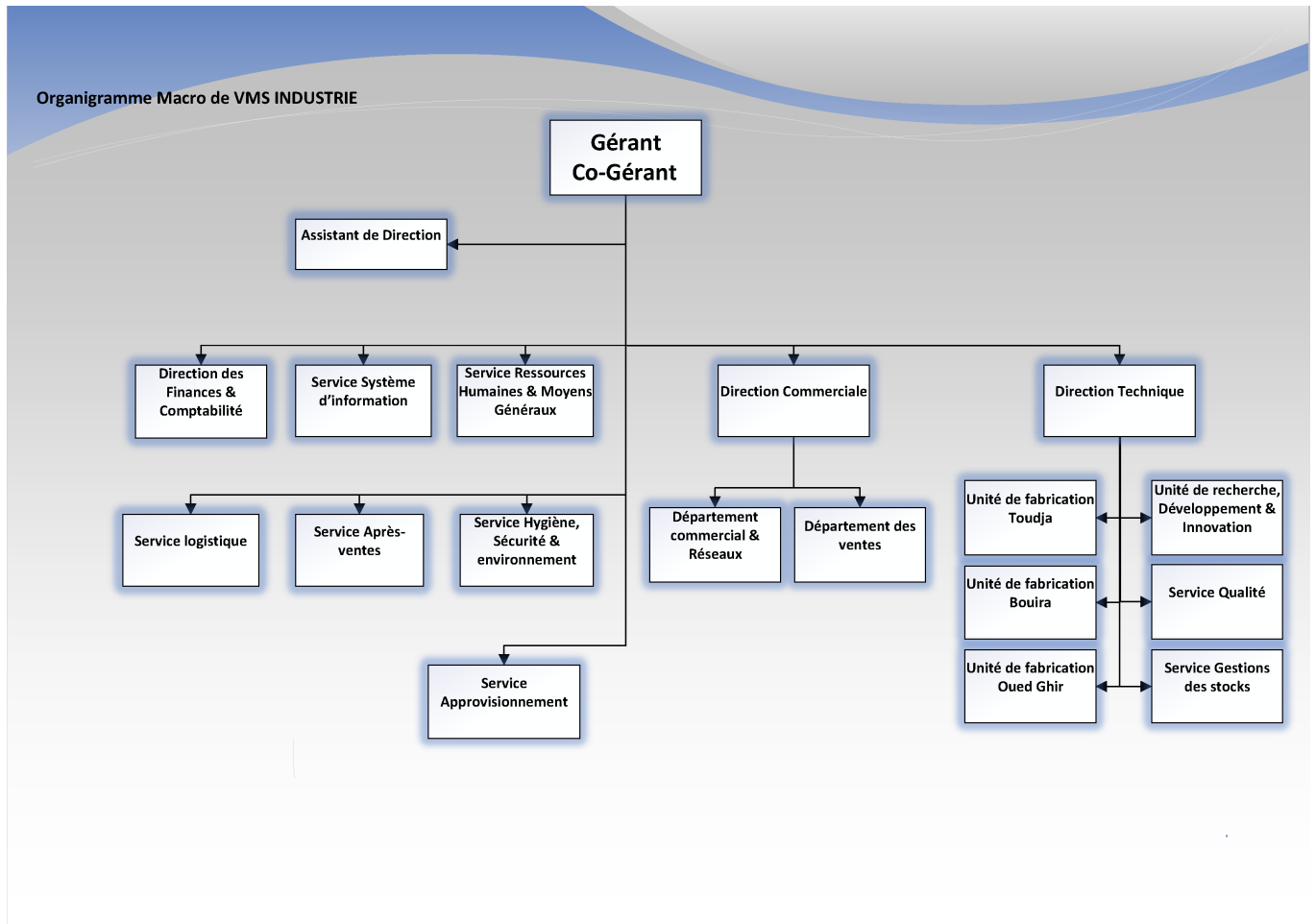


FIGURE 1.1 – Organigramme de l'entreprise d'accueil.

Bureau Méthode (unité Toudja) :

Ce bureau est composé d'un responsable du bureau et de 05 services qui sont :

- Service constat client : ce poste est chargé de faire les constats pour tous ce qui est pannes signalé par le client, il travaille en étroite collaboration avec le magasin SAV qui l'alimente en pièces détachées pour réparation.
- Service constat fournisseur : ce service est chargé de faire les constats pour tous ce qui est manque de pièces ou pièces défectueuse qui viennent du fournisseur.

- Service ordonnancement : ce service est chargé de préparer les besoins des pièces détachées lors de chaque demande, il assure l'approvisionnement vers l'unité de production.
- Service numéro de châssis : étant une tâche délicate vu son importance pour l'identification des motos assemblées dans les différents ateliers de l'entreprise un poste a été créé, qui est chargé de l'organisation et le suivis des numéros de châssis.
- Service conception des catalogues : ce poste est chargé de la rédaction et de la conception des catalogues de montage des différents modèles de moto que l'entreprise produits, des catalogues qui vont être vendu pour les concessionnaires privés qui travaillent avec VMS Industrie.

1.6 Processus et chaînes de production de l'entreprise

L'assemblage des motos se fait sur 05 chaînes, lors du début de la production le chef de chaîne reçoit un bon des quantités des motos qui doivent être produites. A son tour le chef de la chaîne organise la production, et ce en affectant les tâches aux différents postes de charge et en leur affectant au même temps les ressources humaines dont chaque poste a besoin. C'est lui aussi qui fait le suivi de la production pour la chaîne dont il est responsable.

1.6.1 Les différentes lignes de production

VMS Industrie a actuellement deux unités de production qui se situent à Toudja et Oued-Ghir

- **Unité Toudja** : assemblage des produits à forte consommation et c'est là aussi que se situe l'administration de l'entreprise, elle comporte trois chaînes de production :
 - Chaîne 01 : elle a un chef de chaîne , 27 ouvriers, un agent nettoyeur, 02 agents de distribution des composants, un tapis roulant d'une longueur de 18 mètres.
 - Chaîne 02 : elle a un chef de chaîne, 27 ouvriers, un agent nettoyeur, 02 agents de distribution des composants, un tapis roulant d'une longueur de 14 mètres.
 - Chaîne 03 : elle a un chef de chaîne, 27 ouvriers, un agent nettoyeur, 02 agents de distribution des composants, un tapis roulant d'une longueur de 18 mètres.

- **Unité Oued-Ghir** : assemblage des produits à faible consommation.
 - Chaîne 04 : elle a un chef de chaîne, 27 ouvriers, un agent nettoyeur, 02 agents de distribution des composants, un tapis roulant d'une longueur de 18 mètres.
 - Chaîne 05 : elle n'est pas mise en marche.

Pour l'approvisionnement, deux agents sont chargés de cette tâche pour alimenter les trois chaînes. Chaque ligne est alimentée par un camion avec des lots de 10 kits pour la partie carénage, des caisses de 24 châssis pour la partie châssis et de 6,9 ou 12 moteurs pour la partie moteur.

1.6.2 Processus de production

Dans notre cas, on va étudier la chaîne d'assemblage numéro 01, celle qui est chargée actuellement de la production du modèle scooter "Driver" un modèle qui est très demandé sur le marché.

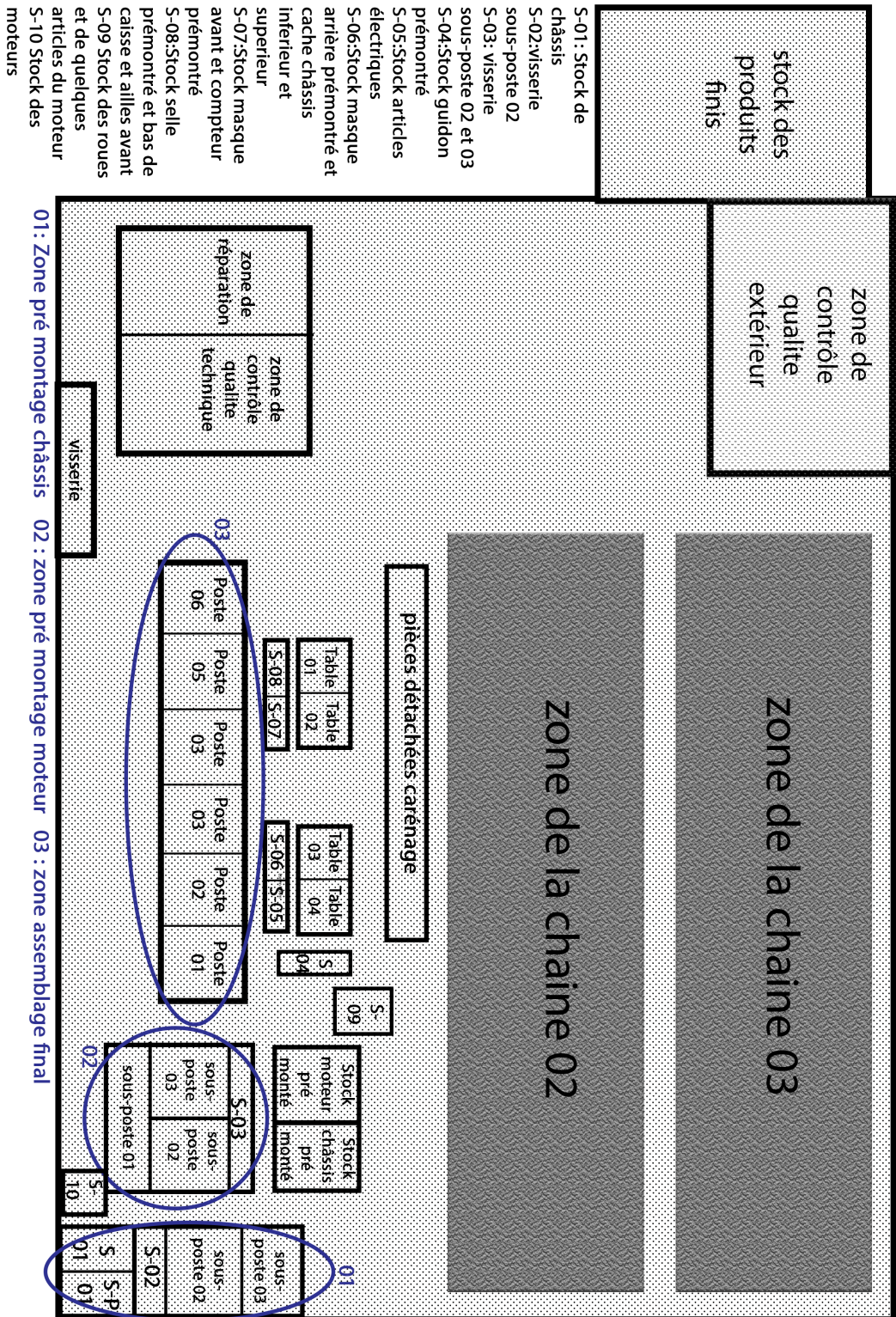


FIGURE 1.2 – Unité de production Toudja

Description de la chaîne 01

La chaîne 01 est composée d'un ensemble de postes d'assemblage final en série, et des postes de prémontage qui sont en parallèle avec les postes d'assemblage final. Dont 04 postes d'assemblage (prémontage) sur table, de deux postes de prémontage un chargé du prémontage châssis, l'autre chargé du prémontage moteur et un tapis roulant d'une longueur de 18 mètres qui est composé lui-même de 06 sous-postes, dont chaque sous-poste est chargé d'effectuer un certain nombre de tâches.

Fiche technique du modèle étudié

Dans notre cas on va étudier le processus de production du modèle Driver. Le scooter Driver est considéré comme un modèle de forte consommation sur le marché, qui appartient à la catégorie moyenne de scooter sur le marché algérien, le tableau suivant montre les caractéristiques du modèle Driver :



FIGURE 1.3 – Le modèle scooter "Driver"

MOTEUR	
Type de moteur	monocylindre 4T, simple ACT, 2 soupapes
Refroidissement	Air
Cylindrée	124 cm ³
Alimentation	Carburateur
Puissance	6.6 kW à 8000 tr/min
Couple	8.6 nm à 6 000 tr/min
TRANSMISSION	
Embrayage	Centrifuge à sec
Boite de vitesses	Automatique
Transmission finale	Courroie
PARTIE-CYCLE	
Suspension avant	Fourche télescopique
Suspension arrière	Bras oscillant
Frein avant	Simple disque
Frein arrière	Simple disque
Pneu Avant	120/60 x 13
Pneu Arrière	130/60 x 13
DIMENSIONS	
Longueur	1 840 mm
Largeur	680 mm
Hauteur	1 150 mm
Empattement	1 315 mm
Poids	110 kg tous pleins faits
PERFORMANCES	
Vitesse Max	86 km/h
Consommation	2,1 l/100 km

TABLE 1.1 – Fiche technique du modèle scooter Driver

Changement du modèle de moto à produire

Lors du changement du modèle à produire, plusieurs tâches sont effectuées, certaines d'entre elles peuvent prendre un temps considérable qui peut ralentir le lancement de la production du nouveau modèle. Dans ce qui suit on va montrer les étapes du processus de changement de modèle :

- Nettoyage du poste prémontage du châssis : une tâche qui est effectuée par les ouvriers qui travaillent dans ce poste, une tâche qui peut prendre jusqu'à 12 minutes.
- Nettoyage du poste prémontage du moteur : une tâche qui est effectuée par les ouvriers qui travaillent dans ce poste, une tâche qui peut prendre jusqu'à 14 minutes.

- Nettoyage du poste de prémontage sur table : une tâche qui est effectuée par les ouvriers qui travaillent dans ce poste, une tâche qui peut prendre jusqu'à 05 minutes.
- Changement de gabarie pour le sous-poste 01 du numéro de châssis : une tâche qui est effectuée par un ouvrier soudeur avec l'ouvrier qui travaille dans ce poste, une tâche qui peut prendre jusqu'à 14 minutes.
- Changement de gabarie pour le sous-poste 02 prémontage châssis : une tâche qui est effectuée par un ouvrier soudeur, une tâche qui peut prendre jusqu'à 15 minutes.
- Distributions des pièces détachées aux postes de pré montages sur tables et au stock s-05 : une tâche qui est effectuée par deux ouvriers, les pièces détachées sont distribuées de la zone pièces détachées carénage vers les postes de prémontage et vers le stock s-05 pour la partie électrique, une tâche qui peut prendre jusqu'à 40 minutes.
- Partage de la visserie : cette tâche est effectuée par les ouvriers qui travaillent dans leurs postes ou chaque ouvrier est chargé de récupérer ces besoins en visserie lors de son arrivée, une tâche qui peut prendre jusqu'à 50 minutes.
- Approvisionnement en composants pour le poste pré montage châssis et pour le poste pré montage moteur : une tâche qui est effectuée par deux ouvriers, cette tâche consiste à distribuer le stock s-09 qui contient les roues et les articles liés au moteur et au châssis, où les roues arrière sont distribuées vers le poste pré montage moteur et la roue avant vers le poste 02 assemblage final et le guidon vers le poste de prémontage sur table 01, une tâche qui peut prendre jusqu'à 15 minutes.
- L'approvisionnement des moteurs est effectué vers le stock s-10 et ce à partir du stock de l'unité, ils viennent dans des palettes de 12 ou 09 ou 06 moteurs.
- L'approvisionnement des châssis est effectué vers le stock s-01 et ce à partir du stock de l'unité, ils viennent dans des caisses de 24 châssis.

Remarque : Pour éviter les rupture et arrêt de la production le service ordonnancement fait toujours une avance de 10 kits, et le chef de chaîne fait aussi une avance sur les prémontages finis de 10 pièces prémontés dans tous les postes de prémontages avant de commencer l'assemblage final.

Processus d'assemblage

Le motorcycle (Driver) passe par différentes phases pour qu'il soit complètement prêt pour la distribution, le processus de production est composé de plusieurs tâches repartis aux différents postes d'assemblage, qui se définit comme suit :

Arrivée des composants de la moto sous forme d'un lot composé de 10 kits sur l'unité de production de l'un des dépôts citée auparavant (dépôt toudja , bejaia , ibourasen, Oued Ghir).

Un agent gestionnaire procède à la vérification des composants envoyés, si un manque ou une pièce défectueuse est trouvé, l'agent signale ce manque pour qu'il soit compléter soit depuis le magasin SAV ou par l'ouverture d'un nouveau kit.

Si tout est vérifié sans qu'il y est de manque, deux agents polyvalents vont distribuer les composants aux 07 postes de prémontages.

Les besoins en visserie sont envoyés dans le premier lot et c'est les agents qui travaillent dans les postes de montage finale et de prémontage qui amène leur besoin en visseries vers leur poste.

Tous les châssis et moteurs sont amenés juste avant la fin de l'assemblage du modèle précédent et sont stockés dans un stock près de l'unité pour qu'il n'y est pas d'arrêt de production puisqu'ils sont considérés comme les pièces maitresses pour l'assemblage.

- **Poste prémontage châssis** : ce poste est composé de 04 sous-postes.

- **Poste prémontage châssis** : c'est dans ce poste que le numéro de série du châssis est gravé et que la plaque ovale est montée, avec un seul ouvrier.
- **Sous-poste 02** : montage du réservoir, câble de selle, amortisseur, repose pied et du 't de fourche' et 'ls fourche', dans ce poste ils font le prémontage de 05 châssis, avec 02 ouvriers plus les 02 ouvriers du sous-poste 03 dès qu'ils terminent le prémontage d'une certaine quantité.
- **Sous-poste 03** : ce poste est composé de deux autre sous-postes un qui fais le pré-montage ses articles liés au réservoir et l'autre qui fais le prémontage du 't de fourche' et le 'ls de fourche' ensemble, avec 01 ouvrier chacun. Après que les 05 châssis sont terminés ils sont conduits dans la zone de stock châssis prémontée.

- **Prémontage moteur** : ce poste est composé de 03 sous-postes
 - **Sous-poste 01** : assemblage de la roue et du disque de frein, avec un ouvrier.
 - **Sous-poste 02** : montage du carburateur, filtre a aire, garde de boue arrière, roue arrière, avec deux ouvriers.
 - **Sous-poste 03** : montage du support moteur, pied centrale et de l'échappement, avec deux ouvriers. Après que le moteur soit prémontée il est conduit dans la zone de stock moteur prémontée.

- **Prémontage table 01** : c'est dans ce poste que se fait les prémontages des ailles avant et de la selle, avec un ouvrier.

- **Prémontage table 02** : prémontage du compteur et du masque avant, avec un ouvrier.

- **Prémontage table 03** : prémontage du masque arrière et du cache châssis inferieure, avec deux ouvriers.

- **Prémontage table 04** : prémontage du guidon, avec un ouvrier.

- **Chaine d'assemblage finale** : elle se compose de 06 postes d'assemblage finale.
 - **Poste 01** : assemblage de la partie châssis et moteur et du guidon et du pied latéral, avec deux ouvriers.
 - **Poste 02** : assemblage du tachymètre, roue avant et du garde boue avant, avec deux ouvriers.
 - **Poste 03** : assemblage de la partie électrique, avec deux ouvriers.
 - **Poste 04** : assemblage cache châssis inferieure, cache châssis supérieur et du tapie pose pied et des ailles centrale, avec deux ouvriers.
 - **Poste 05** : assemblage du masque arrière, cache faisceau et du cache batterie et des poignes de soutiens, avec deux ouvriers.

- **Poste 06** : assemblage du masque avant et des ailles avant et du bas de caisse, avec deux ouvriers.

Après la fin de l'assemblage un test technique va être fais, un ouvrier chargé de cette tâche pour vérifier si tous marche bien, si un problème est détecté il va y aller à une zone de réparation ou un ouvrier chargé de cette tache va la réparer, sinon il sera reconduit dans la chaine en cas d'un défaut d'assemblage majeur.

Remarque :

Si il y a pas de motos qui doivent être réparé l'ouvrier qui travaille dans le poste de réparation va être affecté vers le poste de contrôle technique.

Si le test est vérifié la selle et le compteur seront mis et la moto va y aller à l'étape du contrôle qualité extérieur. Si le test qui va être effectué par un ouvrier est vérifié alors la moto sera enregistré et un code QR sera coller identifiant la moto, et il est sera conduite vers la zone de stock des produits fini, temporairement avant qu'il soit expédié par la suite.

Produits finis

Lorsqu'une moto passe le contrôle extérieur, elle est dirigée directement vers un espace appelé " stock de produits finis " avec une capacité de 100 motos, par la suite elle est envoyée soit dans un des dépositaires de l'entreprise à setif ou à Ghilizane, à Oued-Ghir dans un espace destiné à stocker les motos ou elle est envoyée directement au client (concessionnaire).

1.7 Position du problème

Afin d'améliorer la compétitivité du marché, les fabricants des motos doivent se concentrer sur l'amélioration continue du processus de production, en mettant l'accent sur l'élimination de divers déchets dans tous les aspects de la production, tels que les actions inutiles, le transport, le temps d'attente, l'inventaire, les opérations inutiles.

Pour mieux se placer dans un marché soumis à une forte concurrence, l'entreprise VMS Industrie envisage d'améliorer son système de gestion de production de moto. Parmi les problèmes identifiés par les gestionnaires :

- Des temps d'attente considérables lors du changement de modèle de production.
- Une répartition non optimale de la main d'oeuvre dans certaines lignes.
- Des temps d'attente considérables sur les postes de la section assemblage final.

Pour palier à quelques-uns de ces problèmes, nous proposons dans ce travail une nouvelle organisation des tâches sur les différents postes de la section assemblage final, via l'optimisation combinatoire. Actuellement, VMS fabrique en moyenne pour le modèle Driver 75 motos par jour. Les gestionnaires souhaitent augmenter la production et améliorer le processus de production.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'entreprise VMS. En effet, nous avons donné un aperçu général sur ses directions, ses missions ainsi que ses activités qui jouent un rôle essentiel dans une entreprise. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter quelques éléments théoriques concernant l'optimisation et l'affectation.

2

GÉNÉRALITÉS SUR L'OPTIMISATION COMBINATOIRE ET LES APPROCHES DE RÉSOLUTION

Introduction

L'optimisation combinatoire joue un rôle essentiel dans la résolution de problèmes dans plusieurs domaines. Dans ce chapitre, nous allons introduire les principales définitions, concepts fondamentaux et quelques notions de bases sur l'optimisation et sur quelques problèmes tel que le problème d'équilibrage et le problème d'affectation.

2.1 Optimisation combinatoire

L'optimisation combinatoire est une branche très importante en recherche opérationnelle, en mathématiques appliquées ou en informatique. Elle comprend un grand nombre de problèmes faciles et difficiles issus d'application réelles les dans différents domaines tels que l'industrie, la finance ou l'armée.

Un problème d'optimisation consiste à chercher une instanciation d'un ensemble de variables soumises à des contraintes, de façon à maximiser ou minimiser un critère. Lorsque les domaines

de valeurs des variables sont discrets, on parle alors de problèmes d'optimisation combinatoire.

L'objectif de ces problèmes est de trouver une meilleure solution dans un espace fini et discret de solutions réalisables, qui respectent un ensemble de conditions, dites aussi contraintes. L'évaluation d'une solution est effectuée à l'aide d'une fonction dite fonction objectif [5].

2.1.1 Formulation mathématique des problèmes d'optimisation

Les problèmes d'optimisation combinatoire peuvent être formulés comme un problème de minimisation ou de maximisation, et s'écrit sous la forme suivante [6] :

$$\min f(x).$$

s.c :

$$g_i(x) \leq 0, \quad i = 1, \dots, m.$$

$$h_j(x) = 0, \quad j = 1, \dots, p.$$

$$x \in S \subseteq R^n.$$

Où f est la fonction à minimiser, appelée fonction coût ou fonction objectif, x représente le vecteur des variables d'optimisation, g_i sont les contraintes d'inégalité et h_j les contraintes d'égalité, et S est l'espace des variables (appelé aussi espace de recherche). S indique quel type de variables sont considérées : réelles, entières, mixtes (réelles et entières dans un même problème), discrètes, bornées, etc. Un point x_A est appelé un point admissible si $x_A \in S$ et si les contraintes d'optimisation sont satisfaites :

$$g_i(x_A) \leq 0, i = 1, \dots, m \text{ et } h_j(x_A) = 0, j = 1, \dots, p.$$

S : Espace de recherche, de configurations

2.1.2 Problèmes classiques d'optimisation combinatoire

Il existe de nombreux problèmes connus dans le domaine de l'optimisation combinatoire. En voici quelques-uns :

Le voyageur de commerce (TSP - Traveling Salesman Problem)

C'est un problème qui consiste à trouver le chemin le plus court qui permet à un voyageur de passer par toutes les villes d'un ensemble une seule fois et de revenir à son point de départ. C'est un problème np difficile à résoudre, car il n'existe pas de méthode rapide et efficace pour tous les cas possibles.

Le sac à dos (Knapsack Problem)

C'est un problème qui consiste à choisir les meilleurs objets à mettre dans un sac à dos, en maximisant la valeur totale ou l'utilités des objets sans dépasser la capacité du sac. Ce problème est souvent utilisé dans des domaines comme la logistique, la production ou la finance.

L'ordonnancement (Job Scheduling Problem)

C'est un problème qui consiste à répartir un ensemble de tâches entre un ensemble de ressources, en respectant des contraintes comme les délais ou les prérequis. L'objectif est souvent de réduire la durée totale de l'ordonnancement ou d'optimiser l'utilisation des ressources.

Le graphe coloré (Graph Coloring Problem)

C'est un problème qui consiste à colorer les sommets d'un graphe de façon que deux sommets voisins n'aient pas la même couleur, en utilisant le moins de couleurs possibles. Ce problème est largement utilisé dans la planification des horaires, l'attribution des ressources ou la résolution de conflits.

Le flot maximum (Maximum Flow Problem)

C'est un problème qui vise à déterminer le flux maximal qui peut circuler dans un réseau de façon efficace. Il a de nombreuses applications pratiques, comme la planification du trafic routier, la distribution d'électricité ou la gestion des réseaux de télécommunications.

Ces problèmes ne représentent qu'une petite partie des applications de l'optimisation combinatoire. On peut retrouver d'autres applications en fonction du secteur où il est appliqué ; l'industrie, la finance, la télécommunication, l'informatique...

2.2 Problème SALBP

Simple Assembly Line Balancing Problem (ou Le problème d'équilibrage des lignes d'assemblage), un problème qui consiste à agencer les activités des différents postes de travail de manière à équilibrer plus ou moins la cadence de production des postes. La ligne est dite équilibrée lorsque la somme des temps improductif est minimisée. Un équilibrage parfait est caractérisé par un temps opératoire constant à tous les postes.

Le Simple assembly line balancing problem (SALBP) est l'un des problèmes que rencontre plusieurs entreprises car le résoudre revient à améliorer la productivité et l'efficacité des lignes d'assemblage.

Les premiers travaux ont été initiés par Salveson en 1955 dans un article [7] pour le journal « Journal of industrial engineering » où l'objectif était de minimiser les temps morts afin de maximiser l'efficacité du travail sur la ligne, ou il a utilisé une approche basée sur la programmation linéaire. Par la suite (Boysen et al., 2008) [8] ont présenté les différents types de SALBP qui peuvent être de type 1, type 2, type E ou de type F.

2.2.1 Définition du SALBP

Simple assembly line balancing problem (ou Problème simple d'équilibrage des ligne d'assemblage), pour bien comprendre le SALBP, on doit tout d'abord donner quelques définitions qui nous seront utiles par la suite de ce document.

Une ligne d'assemblage consiste en une série de stations, chacune effectuant un ensemble d'opérations. Les opérations sont caractérisées par leur temps d'exécution et elles sont le plus souvent reliées par des contraintes de précédence. Les opérations d'une même station sont exécutées de façon séquentielle. Il en résulte que le temps de travail d'une station est égal à la somme des temps d'exécution de ses opérations. Le temps de cycle impose une cadence aux stations car celles-ci ne doivent pas avoir un temps de travail qui lui est supérieur. Le temps mort d'une station est défini comme étant la différence entre le temps de cycle et son temps de travail [9].

L'équilibrage d'une ligne d'assemblage ou la résolution du SLABP revient à trouver une affectation de l'ensemble des opérations telle que les contraintes de précédence entre les opérations soient respectées et que le temps mort total de la ligne soit minimal. Le problème SALBP peut être décrit de façon suivante [10].

Les types et le nombre de lignes concernées :

- Une chaîne d'assemblage organisée en ligne droite et fabriquant un seul type de produit.

Les opérations à affecter :

- L'ensemble d'opérations $I = \{1, 2, \dots, i, \dots, |I|\}$ est connu et fixe.
- Chaque opération est caractérisée par une valeur déterministe t_i estimant sa durée.

La configuration des postes de travail :

- Les postes de travail $M = \{1, 2, \dots, k, \dots, m\}$ sont identiques en termes de configuration et toute opération peut être affectée et exécutée à tout poste de travail.
- Les opérations affectées à un poste de travail k , c'est-à-dire l'ensemble I_k , sont exécutées de manière séquentielle. La somme des durées de toutes ces opérations constitue la charge du poste de travail $T_k = \sum_{i \in I_k} t_i$.

Les contraintes à respecter :

- Chaque opération doit être effectuée entièrement sur un seul poste de travail.
- Un ordre partiel d'exécution d'opérations, imposé par le processus technologique, doit être respecté lors de l'affectation des opérations aux postes de travail. Les contraintes de ce type sont connues sous le nom de « contraintes de précédence ».
- La chaîne est synchronisée, par conséquent, la charge d'aucun poste de travail ne doit dépasser le temps de cycle objectif $T_k \leq T_0, \forall k \in M$.

Le critère à optimiser :

- L'objectif est de minimiser le nombre de postes de travail nécessaires pour affecter toutes les opérations en respectant l'ensemble de contraintes de précédence et la contrainte de temps de cycle.

2.2.2 Classification des problèmes SALBP

Le SALBP est considéré comme un problème d'optimisation combinatoire NP-difficile, on peut avancer 04 types de SALBP, et ce en fonction des données présentes qui sont résumé dans ce tableau

Type de problème	Contraintes imposées	
	Temps de cycle	Nombre de Station
SALBP-1	Connue et Fixe	Non Fixe (à minimiser)
SALBP-2	Non Fixe (à minimiser)	Connue et Fixe
SALBP-F	Connue et Fixe	Connue et Fixe
SALBP-E	Non Connue et non Fixe (à minimiser)	Non Connue et non Fixe (à minimiser)

TABLE 2.1 – Type de problème d'assemblages simple (SALBP).

2.2.3 Formulation mathématique du SALBP

Le SALBP-2 peut être techniquement décrit comme suit. Une instance (T, G, m) qui se compose de trois composantes. $T = \{1, \dots, n\}$ est un ensemble de n tâches. Chaque tâche $i \in T$ a un temps de traitement prédéfini $t_i > 0$. De plus, on donne un graphe de précédence $G = (T, A)$,

qui est un graphe orienté et acyclique avec T comme ensemble de nœuds. Enfin, m est le nombre prédéfini de postes de travail qui sont ordonnés de 1 à m . Un arc $l_{ij} \in A$ indique que la tâche $i \in T$ doit être traité avant la tâche $j \in T$.

Étant donné une tâche $j \in T$, $P_j \subset T$ désigne l'ensemble des tâches qui doivent être traitées avant j . Une solution réalisable est obtenue en attribuant chaque tâche à exactement un poste de travail de manière à respecter les contraintes de précédence entre les tâches. La fonction objectif consiste à minimiser le temps de cycle, également appelé cycle time. Le SALBP-2 peut être formulé de la manière suivante en tant que problème de programmation linéaire entière :

Variable de décision :

x_{is} est une variable binaire qui est définie à 1 si et seulement si la tâche $i \in T$ est attribuée au poste de travail $1 \leq s \leq m$.

La fonction objectif c'est de minimiser le temps de cycle $z > 0$.

$$\min z \tag{2.1}$$

sous contraintes :

$$\sum_{s=1}^m x_{is} = 1, \quad \forall i \in T. \tag{2.2}$$

$$\sum_{s=1}^m s x_{is} \leq \sum_{s=1}^m s x_{js}, \quad \forall j \in T, i \in P_j. \tag{2.3}$$

$$\sum_{i \in T} t_i x_{is} \leq z, \quad s = 1, \dots, m. \tag{2.4}$$

$$x_{is} \in \{0, 1\}^n, \quad \forall i \in T, s = 1, \dots, m \quad z > 0. \tag{2.5}$$

Les contraintes (2.2) garantissent que chaque tâche $i \in T$ est attribuée à un seul poste de travail $1 \leq s \leq m$. Les contraintes (2.3) reflètent les relations de précédence entre les tâches. Plus précisément, si la tâche $j \in T$ est attribuée à un poste de travail $1 \leq s \leq m$, toutes les tâches $i \in P_j$ doivent être attribuées à des postes de travail $1 \leq s' \leq m$ avec $s' \leq s$. Les contraintes (2.4) garantissent que la somme des temps de traitement des tâches attribuées à un poste de travail $1 \leq s \leq m$ ne dépasse pas le temps de cycle z [11].

2.2.4 Les objectifs de SALBP

Dans l'industrie une ressource sous-utilisée est un capital immobilisé sans profit, c'est de là que découle les objectifs du SALBP qui peuvent être définis comme suit :

Capacité

→ Minimisation de temps mort total.

→ Minimisation de temps de cycle.

Coût

→ Minimisation du coût de matérielles.

Profit

→ Maximisation de profit par unité.

2.3 Problème d'affectation

2.3.1 Définition d'un problème d'affectation

Le problème d'affectation appartient à une catégorie spéciale de programmes linéaires dans laquelle la fonction économique consiste à affecter n employés à m tâches à un coût minimum ou à un profit maximum. Ainsi, chaque employé ne peut être affecté qu'à une seule tâche et chaque tâche ne peut être exécutée que par un seul employé au même temps.

Cette spécificité implique deux particularités à ce programme linéaire : La fonction économique correspond à une matrice carrée.

La solution optimale est telle qu'il y a une seule affectation dans chaque colonne et chaque ligne.

Nous cherchons à trouver l'affectation qui minimise le nombre total des employés sur l'ensemble des tâches ou minimiser le coût d'affectation total [12].

2.3.2 Formulation mathématique :

Les constantes :

c_{ij} : représentent le coût d'exécution d'une tâche t_j ($j \in \{1, \dots, m\}$) par un agent a_i ($i \in \{1 \dots n\}$).

Variable de décision :

x_{ij} : représente l'affectation de l'agent i à la tâche j .

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si l'agent } i \text{ est affectée à la tâche } j; \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

La fonction objectif

Elle est triviale car le coût d'affectation d'un agent i à une tâche j est $c_{ij}x_{ij}$ pour tout $i \in \{1...n\}$ et $j \in \{1...m\}$.

$$\text{Min} \quad z(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}x_{ij}. \quad (2.6)$$

Les contraintes :

Contrainte liée aux agents : elle signifie que chaque employé i ne peut être affecté qu'à une seule tâche j (parmi toutes les tâches, $j \in \{1, \dots, m\}$).

$$\sum_j^m x_{ij} = 1, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}. \quad (2.7)$$

Contrainte liée aux tâches : elle signifie que chaque tâche j ne peut être exécutée que par un seul agent i au même temps (parmi tous les agents $i \in \{1, \dots, n\}$)

$$\sum_i^n x_{ij} = 1, \quad \forall j \in \{1, \dots, m\}. \quad (2.8)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}^n, \quad \forall j \in \{1, \dots, m\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, n\}. \quad (2.9)$$

Le modèle mathématique

$$\text{Min} \quad z(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}x_{ij}.$$

$$\sum_j^m x_{ij} = 1, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}.$$

$$\sum_i^n x_{ij} = 1, \quad \forall j \in \{1, \dots, m\}.$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}^n, \quad \forall j \in \{1, \dots, m\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, n\}.$$

2.4 Méthodes de résolution

Un grand nombre de méthodes de résolution existe en recherche opérationnelle pour l'optimisation combinatoire. Nous distinguons deux grandes familles : les méthodes exactes qui garantissent la complétude de la résolution (optimalité) à des temps de calcul parfois prohibitifs ; et les méthodes approchées qui peuvent perdre la complétude de résolution mais qui

fournissent souvent des solutions approchées de bonne qualité en temps raisonnable [13].

2.4.1 Méthodes exactes

Les méthodes exactes sont des méthodes de résolution qui permettent d'obtenir la solution optimale à un problème d'optimisation en parcourant, de manière implicite, toutes les combinaisons possibles. Dans cette famille, nous citons les méthodes de séparation et évaluation (Branch and Bound) . Leur principe de base consiste à diviser le problème initial en un certain nombre de sous-problèmes pour constituer l'arbre de recherche. A chaque itération, un sous-problème est sélectionné 1) pour déterminer l'optimum de l'ensemble des solutions réalisables associées au sous-problème en question, ou 2) pour prouver que cet ensemble ne contient pas de solution optimale. La méthode la plus générale pour prouver l'optimum consiste à déterminer un minorant (majorant pour une maximisation) des solutions contenues dans l'ensemble, en résolvant une relaxation du sous-problème courant.

Si le minorant est supérieur à la valeur de la meilleure solution trouvée, cela affirme que le sous-ensemble ne contient pas l'optimum. Par contre, si les deux bornes supérieures et inférieure sont égales, alors une solution optimale est trouvée.

2.4.2 Méthodes approchées

Les méthodes approchées représentent une alternative pour résoudre les problèmes d'optimisation de grande taille lorsque les méthodes exactes échouent. Elles permettent d'obtenir des solutions de bonnes qualités en un temps de calcul réduit.

2.5 Logiciels d'optimisation

De nombreux solveurs ont été développés pour la résolution des problèmes combinatoires. Ces logiciels peuvent être libres à la disposition de la communauté scientifique ou commerciaux. Dans ce qui suit, nous présentons les solveurs : IBM ILOG cplex basé sur les méthodes exactes et le solveur LocalSolver basé sur la recherche locale et le solveur Excel.

IBM ILOG cplex

IBM ILOG CPLEX Optimization Studio utilise la technologie d'optimisation des décisions pour optimiser des problèmes d'optimisation en programmation linéaire, mixte et quadratique. Le logiciel repose sur des méthodes exactes et plus particulièrement sur les méthodes arborescentes.

IBM ILOG CPLEX Optimization Studio est une solution d'analyse prescriptive qui permet le développement et le déploiement rapide de modèles d'optimisation des décisions à l'aide de la programmation mathématique et par contraintes [14].

LocalSolver

LocalSolver est un nouveau type de solveur d'optimisation mathématique. Il combine différentes technologies d'optimisation pour résoudre les problèmes actuels. LocalSolver, peut résoudre des problèmes ultra-larges, réels, discrets, numériques de manière modélisée et exécutée sans aucun réglage.

Résoudre un problème avec LocalSolver revient à écrire un modèle mathématique définissant ; les variables de décision, les contraintes à satisfaire pour qu'une solution soit considérée comme valide, les fonctions objectives à minimiser ou maximiser. Une fois le modèle défini, il ne reste plus qu'à lancer le solveur [15].

Solveur Excel

Le Solveur est un complément Microsoft Excel que peut être utiliser pour des analyses de scénarios. Le Solveur permet à son utilisateur de trouver une valeur optimale (maximale ou minimale) pour une formule dans une seule cellule, appelée cellule objectif (fonction objectif), en fonction de contraintes ou de limites appliquées aux valeurs d'autres cellules de la formule dans une feuille de calcul. Le Solveur utilise un groupe de cellules, appelées variables de décision ou simplement cellules variables, qui interviennent dans le calcul des formules des cellules objectif et de contraintes. Le Solveur affine les valeurs des cellules variables de décision pour satisfaire aux limites appliquées aux cellules de contraintes et produire le résultat souhaité pour la cellule objectif [16].

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques concepts fondamentaux de l'optimisation combinatoire en mettant l'accent sur le problème d'équilibrage des lignes d'assemblage et le problème d'affectation, nous avons également présenté certaines méthodes de résolution.

3

MODÉLISATION ET RÉOLUTION

Introduction

De façon générale, la productivité se définit comme le rapport entre la production d'un bien ou d'un service et l'ensemble des entrants nécessaires pour le produire. Elle constitue, en fait, une mesure de l'efficacité avec laquelle une entreprise met à profit les ressources dont elle dispose telle que la main d'oeuvre, machine, outillage énergie et ce pour fabriquer les produits ou offrir des services. Les déterminants de la productivité demeurent difficiles à cerner.

Nous nous intéressons à la modélisation et l'étude du problème d'équilibrage des lignes et au problème d'affectation du personnel au sien de l'entreprise VMS. Nous proposons en première lieu une modélisation du problème d'équilibrage et une modélisation du problème d'affectation du personnel. En second lieu, nous donnons les résultats obtenus et les améliorations en terme de quantité.

3.1 Collecte des données

Pour assembler une moto prête à être vendue, il doit passer sur les cinq phases citées auparavant, et dans la phase assemblage final plusieurs tâches sont effectuées tout en respectant les contraintes de précédences, le tableau suivant montre la durée de chaque tâche, leur antériorité.

Abréviation	Nom de la tâche	antériorités	Durée
A	assemblage châssis et moteur		62
B	fixation amortisseur	A	41
E	assemblage du guidon	A	75
C	assemblage du pied latéral	A	36
D	assemblage de du tachymètre	A	42
T	assemblage de la roue avant	D	39
F	assemblage du garde boue avant	A	36
S	pose des câbles électrique	ABETD	30
H	assemblage de la partie électrique	S	212
G	assemblage cache châssis inférieure	A	29
I	assemblage du cache châssis supérieur	H	52
K	assemblage du tapie pose pied	I	47
Y	ailles centrale	K	49
L	assemblage du masque arrière	K	42
N	assemblage du cache faisceau	KL	24
O	assemblage du cache batterie	NL	22
M	poignée de soutien	L	32
P	assemblage du masque avant	QI	59
Q	assemblage des ailles avant	I	97
J	assemblage du bas de caisse	KG	22

TABLE 3.1 – Tableau des durées des tâches et leur antériorité.

Graphe de précedence

La figure 3.4 présente le graphe acyclique dirigé. Le système présente 20 tâches. Chacune a ses contraintes temporelles (temps opératoire) et contraintes de dépendances (précédence).

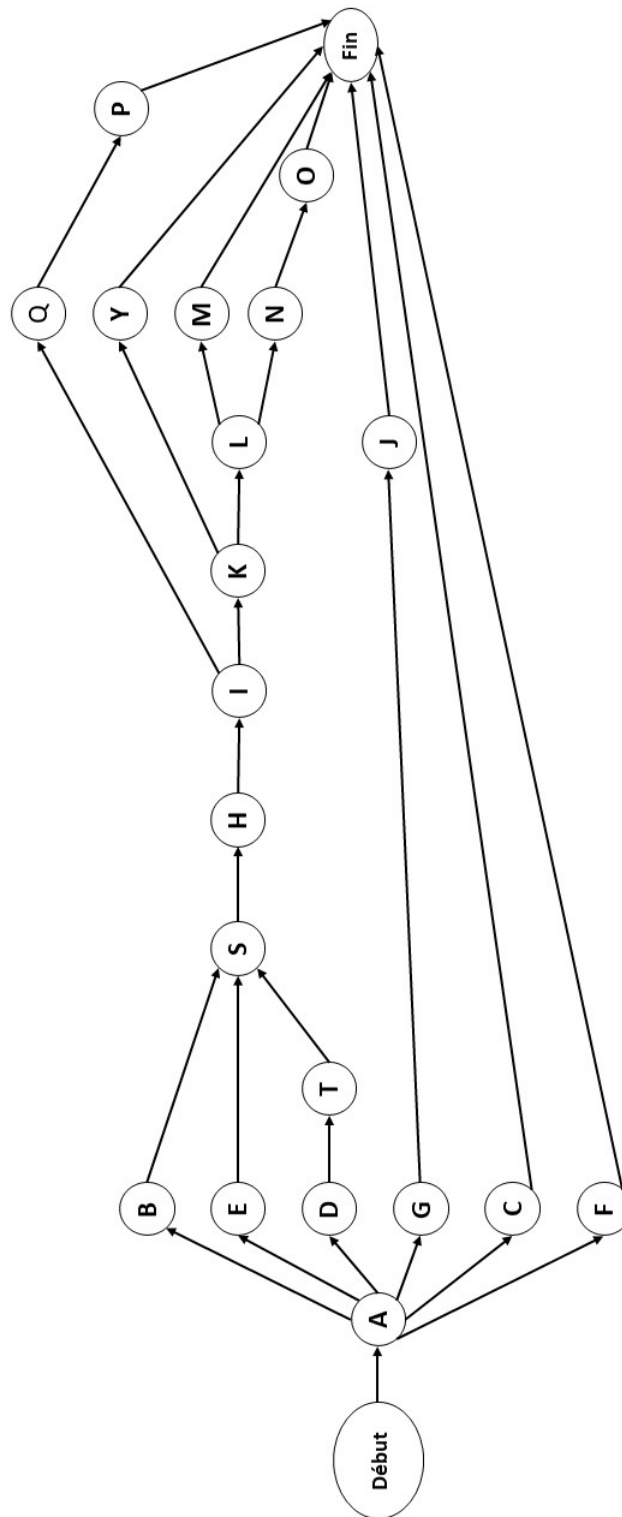


FIGURE 3.1 – Graphe de précedence.

Pour élaborer le plan de formation du personnel, il faut se baser sur la matrice de compétence. Celle-ci indique le niveau de compétence de chaque agent pour une tâche donnée. Ce niveau peut varier selon la tâche et évoluer dans le temps.

Le niveau de compétence c_{jk} (avec $1 \leq k \leq 20$ et $1 \leq j \leq 12$) de l'agent j pour effectuer la tâche k , peut avoir les valeurs suivantes :

- $c_{jk} = 0$: aucune compétence pour réaliser la tâche considérée.
- $0 \leq c_{jk} < 5$: niveau encore insuffisant pour réaliser cette tâche.
- $5 \leq c_{jk} < 10$: compétence suffisante pour accomplir la tâche k .
- $c_{jk} = 10$: forte compétence pour accomplir cette tâche.(trouver le tableau des compétences d'un agent pour une tâche dans l'annexe).

Le tableau ci-dessous est élaboré en fonction des résultats trouvés dans la résolution de notre SALPB-2, où on a fait la somme des compétences de chaque agent j pour un poste i en fonction des tâches qui se trouvent dans le poste i .

	Poste 01	Poste 02	Poste 03	Poste 04	Poste 05
	1	2	3	4	5
1	40	49	5	37	32
2	40	33	3	32	24
3	29	49	5	32	30
4	37	49	10	38	30
5	27	47	10	32	28
6	27	49	10	32	28
7	27	39	3	46	33
8	40	49	10	49	45
9	36	49	5	48	50
10	28	47	5	48	42
11	36	49	7	50	50
12	33	49	9	43	46

TABLE 3.2 – Tableau des compétences.

3.2 Ligne de production 01

Une chaîne de production peut être formée par une suite de machines-outils connectées par des tuyaux ou des transporteurs, qui peuvent être soit assembler en série ou en parallèle. A chaque poste des tâches sont effectuées en respectant certaines contraintes et ce afin d'avoir un produit fini ou semi fini à la fin de cette chaîne. Les opérations d'assemblage peuvent être manuelles ou automatisées.

Dans le cadre de notre recherche, nous nous concentrerons spécifiquement sur l'étude de la chaîne d'assemblage 01 de l'unité de production de Toudja, pour avoir un produit fini il faut donc que la moto passe par plusieurs phases :

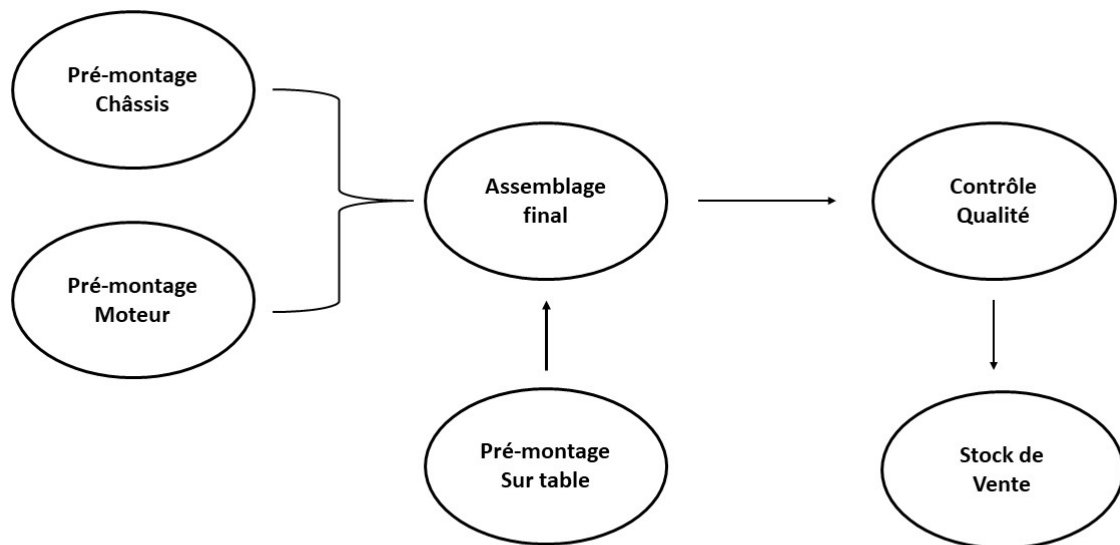


FIGURE 3.2 – Phases de production

Le principe de chaque étape est :

- Prémontage châssis : assemblage de certaines pièces avec le châssis.
- Prémontage moteur : assemblage de certaines pièces avec le Moteur.
- Prémontage sur table : Prémontage de certaines pièces entre elles avant qu'elles soient montées dans la partie assemblage final.
- Assemblage final c'est là que l'ensemble des pièces sont assemblées entre elles pour avoir le produit final.
- Contrôle qualité : c'est la dernière partie de la production ou ils font le contrôle technique pour la moto et le contrôle extérieur avant qu'elle soit stockée, soit expédier directement.

3.3 Modélisation du problème d'équilibrage des postes

Dans ce qui a précédé, on a vu que la production est composée de cinq phases, notre travail va se focaliser sur la partie assemblage final par conséquent notre problème principal est de trouver la meilleure affectation des tâches au différents postes ; trouver une bonne organisation des postes, et éliminer les temps perdus qui engendrera automatiquement une augmentation de la production.

Dans ce qui suit, nous allons essayer d'améliorer la productivité dans la partie assemblage final, ce qui veut dire on va traiter deux problèmes ; le SALPB-2 (Simple Assembly Line Ba-

lancing Problem Type 2) et le problème d'affectation du personnel.

Comme première étape, nous allons faire l'équilibrage pour le nombre de postes que l'entreprise possède déjà et qui est de 06.

3.4 Élaboration du modèle 01

Dans ce qui suit nous allons résoudre le problème d'équilibrage de la chaîne 01, en prenant comme donnée le nombre de poste , qui est égale à 06 postes.

1. Indices

j : indice d'identification d'une tâche $j = \overline{1, 20}$.

i : indice d'identification d'un poste $i = \overline{1, 6}$.

2. Données et paramètres

d_j : la durée de la tâche j (en secondes).

b_{jk} : les précédences entre la tâche j et la tâche k .

$$b_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{si il existe un arc allant du sommet } j \text{ au sommet } k, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

3. Les variables de décision

x_{ji} : valeur binaire représentant l'affectation de la tâche j au poste i .

$$x_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{si la tâche } j \text{ est affectée au poste } i, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

Tc : temps de cycle de production.

4. L'objectif

L'objectif est de minimiser la somme du temps des tâches de chaque poste et d'avoir des temps équilibrés entre les postes.

$$\text{Min} \quad Tc \quad (3.1)$$

5. Les contraintes

Une tâche n'est exécutée que sur un seul poste parmi ceux possibles :

$$\sum_i^6 x_{ji} = 1, \quad \forall j \in \{1, \dots, 20\}. \quad (3.2)$$

Contrainte d'antériorité :

$$\sum_i^6 i \times x_{ji} \geq b_{jk} \times \sum_i^6 i \times x_{ki}, \quad \forall j, k \in \{1, \dots, 20\}. \quad (3.3)$$

La somme des temps d'un poste ne doit pas dépasser le temps de cycle de production maximal :

$$Tc \geq \sum_j^{20} d_j \times x_{ji}, \quad \forall i \in \{1, \dots, 6\}. \quad (3.4)$$

$$x_{ji} \in \{0, 1\}^n, \quad \forall i \in \{1, \dots, 6\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, 20\}. \quad (3.5)$$

6. Le modèle mathématique

$$\begin{aligned} & \text{Min} \quad Tc \\ & \sum_i^6 x_{ji} = 1, \quad \forall j \in \{1, \dots, 20\}. \\ & \sum_i^6 i \times x_{ji} \geq b_{jk} \times \sum_i^6 i \times x_{ki}, \quad \forall j, k \in \{1, \dots, 20\}. \\ & Tc \geq \sum_j^{20} d_j \times x_{ji}, \quad \forall i \in \{1, \dots, 6\}. \\ & x_{ji} \in \{0, 1\}^n, \quad \forall i \in \{1, \dots, 6\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, 20\}. \end{aligned}$$

3.4.1 Résultat

Après avoir introduit les données récoltées au sien de l'entreprise sur Excel, sachant que le nombre de poste est égale à 06, nous avons utilisé le logiciel CPLEX pour résoudre le modèle (voir l'annexe), ce dernier a donné les résultats suivants.

Tâches \ Postes	Postes					
	1	2	3	4	5	6
A	1	0	0	0	0	0
B	1	0	0	0	0	0
E	0	1	0	0	0	0
C	0	1	0	0	0	0
D	1	0	0	0	0	0
T	1	0	0	0	0	0
F	0	1	0	0	0	0
S	0	1	0	0	0	0
H	0	0	1	0	0	0
G	0	1	0	0	0	0
I	0	0	0	1	0	0
K	0	0	0	0	1	0
Y	0	0	0	0	1	0
L	0	0	0	0	1	0
N	0	0	0	0	0	1
O	0	0	0	0	0	1
M	0	0	0	0	1	0
P	0	0	0	0	0	1
Q	0	0	0	0	0	1
J	0	0	0	0	1	0

TABLE 3.3 – Résultats de l'affectation des tâches aux différents postes.

3.4.2 Interprétation des résultats

Les résultats trouvés montrent qu'en résolvant le problème avec CPLEX, les tâches **ABDT** vont être assignés au poste 01 avec une durée totale de **184 secondes**, les opérations **ECFSG** vont être affectés au poste 02 pour totaliser une durée de **206 secondes**, la solution trouvée montre que la tâche **H** est attribué au poste 03 avec un temps de réalisation égal à **212 secondes**, de même pour le poste 04 où on va avoir une seule tâche qui est **I** qui a un temps d'exécution de **52 secondes**, pour finir le solveur affecte les opérations **KYLMJ** au poste 05 et les opérations **NOPQ** au poste 06, avec des durées de **192 secondes** pour le poste 05, et de **202 secondes** pour le poste 06.

Les deux figures suivantes montrent les changements avant et après l'équilibrage :

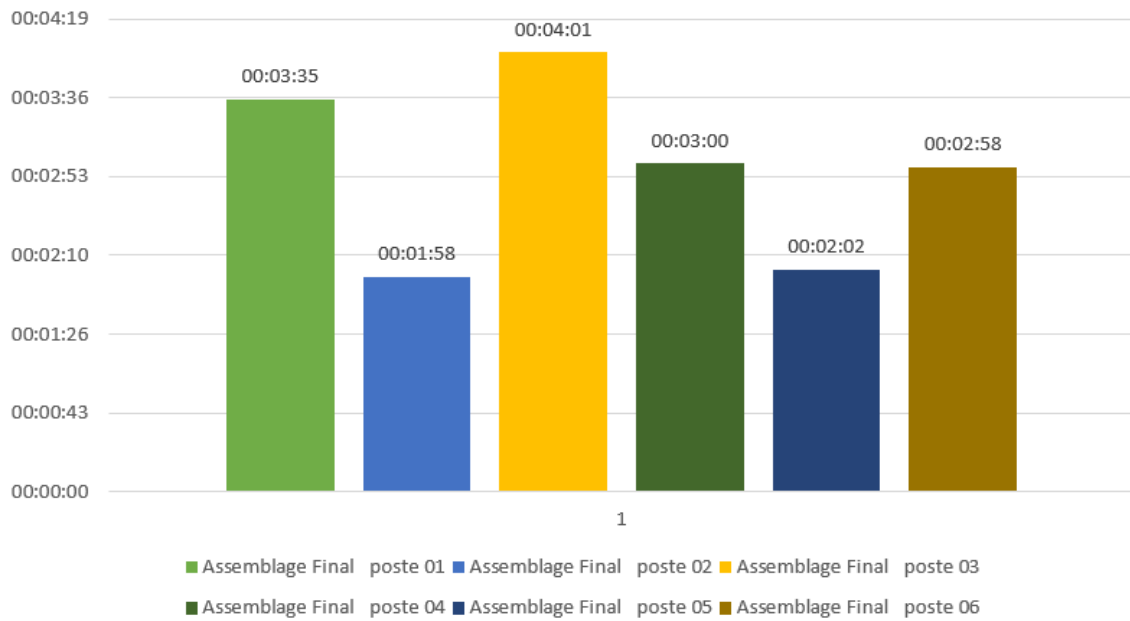


FIGURE 3.3 – Les temps d'exécution avant l'équilibrage.

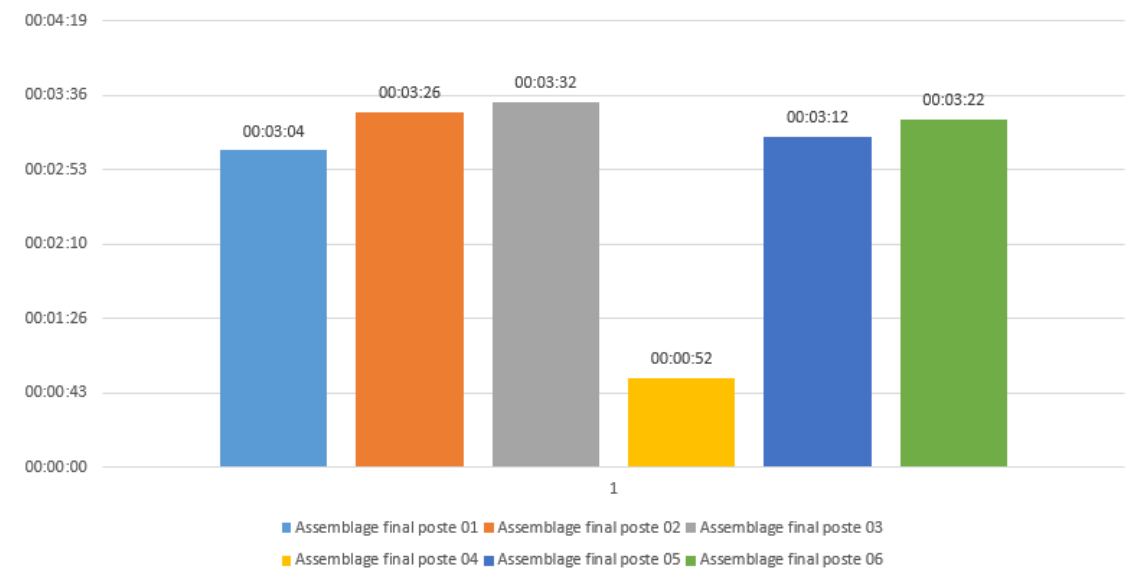


FIGURE 3.4 – Les temps d'exécution après l'équilibrage.

3.4.3 Analyse des résultats

En analysant les données récentes et en les comparant aux anciennes données collectées sur l'entreprise VMS, on constate que malgré qu'il y a une amélioration sur les temps perdus sur les postes "01", "02", "03", "05", "06". Mais on remarque que pour le poste 04 ce n'est pas le cas, ou il présente un temps perdu très important, ce qui ne résout pas notre problème. C'est pourquoi nous envisageons de résoudre le problème en fixant le nombre de postes à 05.

3.5 Élaboration du modèle 02

1. Indices

j : indice d'identification d'une tâche $j = \overline{1, 20}$.

i : indice d'identification d'un poste $i = \overline{1, 5}$.

2. Données et paramètres

d_j : la durée de la tâche j (en secondes).

b_{jk} : les précédences entre la tâche j et la tâche k .

$$b_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{si il existe un arc allant du sommet } j \text{ au sommet } k, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

3. Les variables de décision

x_{ji} : valeur binaire représentant l'affectation de la tâche j au poste i .

$$x_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{si la tâche } j \text{ est affectée au poste } i, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

Tc : cycle de production.

4. L'objectif

L'objectif est de minimiser la somme du temps des tâches de chaque poste et d'avoir des temps équilibrés entre les postes.

$$\text{Min} \quad Tc \quad (3.6)$$

5. Les contraintes

Une tâche n'est exécutée que sur un seul poste parmi ceux possibles :

$$\sum_i^5 x_{ji} = 1, \quad \forall j \in \{1, \dots, 20\}. \quad (3.7)$$

Contrainte d'antériorité :

$$\sum_i^5 i \times x_{ji} \geq b_{jk} \times \sum_i^5 i \times x_{ji}, \quad \forall j, k \in \{1, \dots, 20\}. \quad (3.8)$$

La somme des temps d'un poste ne doit pas dépasser le temps de cycle de production maximal :

$$Tc \geq \sum_j^{20} d_j \times x_{ji}, \quad \forall i \in \{1, \dots, 5\}. \quad (3.9)$$

$$x_{ji} \in \{0, 1\}^n, \quad \forall i \in \{1, \dots, 5\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, 20\}. \quad (3.10)$$

6. Le modèle mathématique

$$\begin{aligned} & \text{Min} \quad Tc \\ & \sum_i^5 x_{ji} = 1, \quad \forall j \in \{1, \dots, 20\}. \\ & \sum_i^5 i \times x_{ji} \geq b_{jk} \times \sum_i^5 i \times x_{ji}, \quad \forall j, k \in \{1, \dots, 20\}. \\ & Tc \geq \sum_j^{20} d_j \times x_{ji}, \quad \forall i \in \{1, \dots, 5\}. \\ & x_{ji} \in \{0, 1\}^n, \quad \forall i \in \{1, \dots, 5\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, 20\}. \end{aligned}$$

3.5.1 Résultat

Après avoir introduit les données récoltées au sien de l'entreprise sur Excel, on a utilisé le logiciel CPLEX pour résoudre le modèle, ce dernier a donné les résultats suivants.

Tâches	Postes				
	1	2	3	4	5
A	1	1	0	0	0
B	2	1	0	0	0
E	3	1	0	0	0
C	4	0	1	0	0
D	5	0	1	0	0
T	6	0	1	0	0
F	7	0	1	0	0
S	8	0	1	0	0
H	9	0	0	1	0
G	10	1	0	0	0
I	11	0	0	0	1
K	12	0	0	0	1
Y	13	0	0	0	1
L	14	0	0	0	1
N	15	0	0	0	1
O	16	0	0	0	1
M	17	0	0	0	1
P	18	0	0	0	1
Q	19	0	0	0	1
J	20	0	0	0	1

TABLE 3.4 – Résultats de l’affectation des tâches aux différents postes.

3.5.2 Interprétation des résultats

Les résultats obtenus (voir l’annexe) lors de la résolution avec le solveur CPLEX, démontrent que les tâches **ABEG** seront assignées au poste 01, avec une durée de **207** secondes. De même, les tâches **CDTFS** seront affectées au poste 02, nécessitant **183** secondes de temps pour leur exécution. La tâche **H** sera attribuée au poste 03 et durera **212** secondes. Les tâches **IKYLM** seront assignées au poste 04, avec une durée de **222** secondes. Enfin, les tâches **NOPQJ** seront affectées au poste 05, nécessitant **224**secondes.

Ainsi, nous avons réussi à réduire le nombre de postes de 06 à 05, et de réduire le temps du poste goulot de **241** à **224** secondes, tout en équilibrant les temps de cycle des postes et en minimisant les temps morts. Le temps de cycle maximal s’établit à **224** secondes.

3.6 Modélisation du problème d’affectation

Après avoir résolu le problème de l’équilibrage des postes de travail nous avons pu constater qu’on peut diminuer le nombre de postes ce qui a engendre une baisse du nombre d’ouvrier sur

la chaîne, ce qui veut dire qu'une nouvelle affectation des agents s'impose. Dans ce qui suit on va modéliser le problème d'affectation des agents au différents postes.

3.7 Elaboration du modèle

1. Indices

j : indice d'identification d'un agent $j = \overline{1, 12}$.

i : indice d'identification d'un poste $i = \overline{1, 5}$.

2. Données et paramètres

C : La matrice des compétences.

C_{ji} : la compétence de l'agent j pour effectuer les tâches du poste i .

3. Les variables de décision

y_{ji} : valeur binaire représentant l'affectation de l'agent j au poste i .

$$y_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{si l'agent } j \text{ est affectée au poste } i, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

4. L'objectif

L'objectif est de maximiser les compétences présentes dans chaque poste.

$$\text{Max} \quad \sum_i^5 \sum_j^{12} C_{ji} \times y_{ji}. \quad (3.11)$$

5. Les contraintes

Un agent peut être affecté au maximum à un seul poste parmi ceux possibles :

$$\sum_i^5 y_{ji} \leq 1, \quad \forall j \in \{1, \dots, 12\}. \quad (3.12)$$

Un poste doit avoir deux agents parmi ceux possibles :

$$\sum_j^{12} y_{ji} = 2, \quad \forall i \in \{1, \dots, 5\}. \quad (3.13)$$

$$y_{ji} \in \{0, 1\}^n, \quad \forall i \in \{1, \dots, 5\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, 12\}. \quad (3.14)$$

6. Le modèle mathématique

$$\begin{aligned}
 \text{Max} \quad & \sum_i^5 \sum_j^{12} C_{ji} \times y_{ji}. \\
 \sum_i^5 y_{ji} & \leq 1, \quad \forall j \in \{1, \dots, 12\}. \\
 \sum_j^{12} y_{ji} & = 2, \quad \forall i \in \{1, \dots, 5\}. \\
 y_{ji} & \in \{0, 1\}^n, \quad \forall i \in \{1, \dots, 5\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, 12\}.
 \end{aligned}$$

3.7.1 Résultat

Nous avons utilisé le solveur d'Excel pour résoudre notre modèle ce qui a donné les résultats suivants :

	Poste 01	Poste 02	Poste 03	Poste 04	Poste 05
	1	2	3	4	5
1	1	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0
4	0	0	1	0	0
5	0	0	1	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	1	0
9	0	0	0	0	1
10	0	0	0	1	0
11	0	0	0	0	1
12	0	1	0	0	0

TABLE 3.5 – Résultats des affectations des agents aux différents postes.

3.7.2 Interprétation des résultats

Les résultats obtenus (voir l'annexe) à partir du solveur Excel, révèlent que les agents **1** et **2** sont assignés au **poste 01**, tandis que les agents 3 et 12 occupent le **poste 02**. Les agents **4** et **5** sont attribués au **poste 03**, tandis que les agents **8** et **10** sont affectés au **poste 04**. Enfin, les agents **9** et **11** sont assignés au **poste 05**. Cette allocation des agents permet d'obtenir un total cumulé de compétences égal à **395**.

3.8 Améliorations apportées au processus de production

Les améliorations apportées au processus d'assemblage final ont permis de minimiser le temps de cycle et de réduire le nombre d'ouvriers requis. Pour optimiser davantage la production, il est possible d'effectuer des améliorations spécifiques dans les postes de pré-montage sur table. Cela peut être réalisé en affectant les deux ouvriers restants aux postes qui présentent des temps plus importants, à savoir le poste 04 et le poste 03. Cette réaffectation permettrait de réduire le temps requis pour le poste 04 à 2 minutes et 50 secondes, et de 3 minutes et 40 secondes à 3 minutes pour le poste 03.

Les changements résultants de cet équilibrage des postes seront présentés dans la section suivante.

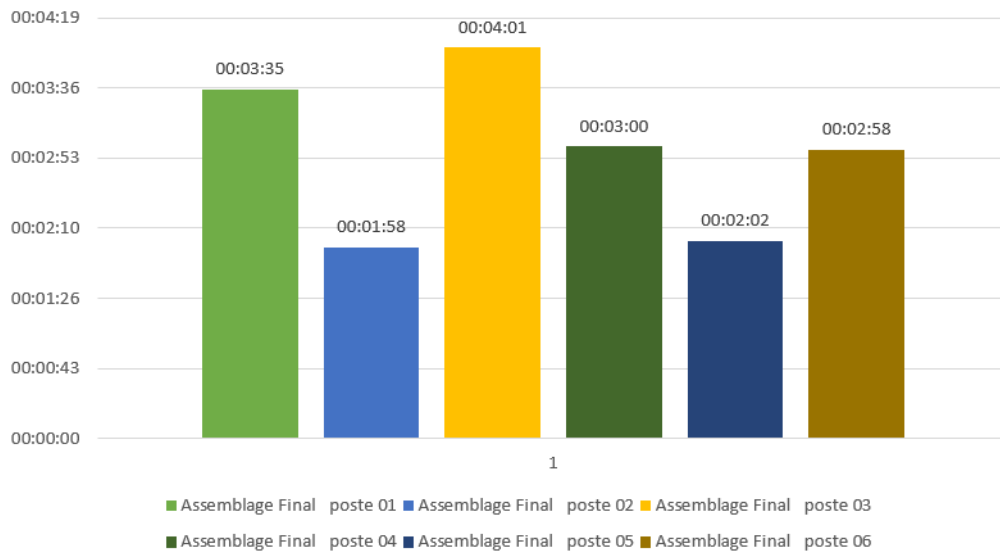


FIGURE 3.5 – Les temps cumulés des postes avant l'équilibrage.

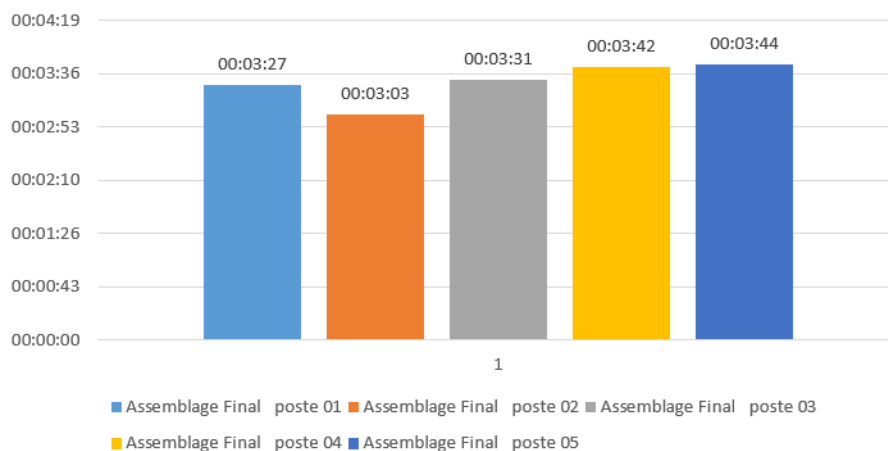


FIGURE 3.6 – Les temps cumulés des postes après l'équilibrage.

3.9 Amélioration en terme des quantités produites

Au cours de mon stage au sein de la société VMS Industrie, j'ai eu l'opportunité de collaborer avec le responsable du bureau des méthodes. Parmi les tâches qu'on a pu réaliser en collaboration, la modélisation de la production à l'aide d'un diagramme de Gantt sur Excel, ce qui nous a permis de déterminer la quantité de motos produites au cours d'une journée.

Au début, avant d'effectuer l'équilibrage des postes de la partie assemblage final et de l'amélioration du temps du poste 04 et 03 sur table, la production s'élevait à 75 motos par jour. Cependant, grâce aux ajustements réalisés et aux améliorations apportées, nous avons constaté une augmentation significative de la production, atteignant désormais 118 motos par jour. Cette amélioration représente une hausse de 57 %, ce qui équivaut à une augmentation de 43 motos par rapport à l'état initial.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré la puissance de la modélisation mathématique et de l'optimisation pour résoudre des problèmes complexes. En effet, les résultats obtenus montrent qu'une bonne modélisation, augmente la production de 57%.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'environnement actuel de production des motos est caractérisé par des marchés soumis à une forte concurrence. Les entreprises sont amenées à faire face à des problèmes de gestion au quotidien. Parmi ces problèmes, on cite le problème d'équilibrage des lignes d'assemblage (ou Simple Assembly Line Balancing Problem), celui qui apparaît à l'étape de la conception ou à l'étape de reconfiguration des lignes d'assemblage, le résoudre revient à donner un coup de pouce pour l'entreprise sur un marché qui s'annonce généralement rude. Pour rester compétitif, il est essentiel d'avoir des lignes de production optimisées et efficaces, afin de maximiser les profits et de réduire les coûts. Cela met en évidence l'importance cruciale de la gestion quotidienne de ce type de problématique dans une entreprise.

L'objectif principal de ce travail est d'améliorer la production et de minimiser les temps perdus, dans l'entreprise VMS Industrie. Dans un premier temps, nous avons réalisé une modélisation du problème d'équilibrage des lignes d'assemblage pour la ligne 01 de l'unité de Toudja. Par la suite, nous avons présenté les données récoltées lors de notre stage. Dans un second lieu, nous avons cherché à répartir efficacement les tâches d'assemblage du modèle Driver, dans l'objectif d'optimiser la production et minimiser les temps perdus qui sont considérés comme des pertes pour l'entreprise, à l'aide du solveur CPLEX. Les résultats obtenus impliquent une nouvelle réaffectation du personnel qui travaillent sur place. Pour résoudre ce problème, nous avons utilisé le solveur d'Excel.

Les résultats que nous avons obtenus montrent que nous pouvons passer d'une production de 75 motos par jour à une production de 118 motos par jour, soit une augmentation d'environ 57%, ce qui équivaut à une augmentation de 43 motos par rapport à l'état initial. Cette amélioration est possible en :

- Enlevant un poste sur la section assemblage final.
- Réaffectant les 10 agents sur 12 agents à la nouvelle organisation des 05 postes en fonction de leurs compétences.
- Réaffectant les 2 agents restants aux postes d'assemblages sur tables numéro 03 et 04.

Plusieurs perspectives peuvent être envisagées comme suite au travail présenté dans ce mémoire. Qui sont :

- Préviation des pièces manquantes ou défectueuses dans les kits des motos.
- Minimisation des temps lors de changement des modèles de production avec la méthode SMED et 5S.
- Amélioration du système d'information entre l'unité de production et le magasin.

A

Annexe

A.1 Tableau des compétences des ouvriers

Pendant notre stage à VMS Industrie, nous avons pu réaliser avec le responsable de la chaîne d'assemblage 01, une évaluation des compétences des ouvriers, qui va nous servir lors de notre réaffectation de ces derniers au diffèrent postes.

	A	B	E	C	D	T	F	S	H	G	I	K	Y	L	N	O	M	P	Q	J
1	10	10	10	10	10	10	10	9	5	10	10	5	5	7	7	10	10	5	5	5
2	10	10	10	10	4	5	5	9	3	10	7	5	5	5	5	10	10	3	3	3
3	6	6	10	10	10	10	10	9	5	7	7	5	5	5	5	10	10	5	5	5
4	10	10	10	10	10	10	10	9	10	7	7	8	8	5	5	10	10	5	5	5
5	5	5	7	10	10	8	10	9	10	10	7	5	5	5	5	10	10	4	4	5
6	5	5	7	10	10	10	10	9	10	10	7	5	5	5	5	10	10	4	4	5
7	5	5	7	10	5	5	10	9	3	10	10	10	10	6	6	10	10	4	4	9
8	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	9	9	10	10	8	8	10
9	8	8	10	10	10	10	10	9	5	10	10	8	10	10	10	10	10	10	10	10
10	5	6	7	10	10	8	10	9	5	10	10	8	10	10	10	10	10	6	6	10
11	8	10	7	10	10	10	10	9	7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
12	5	10	7	10	10	10	10	9	9	10	7	10	10	6	10	10	10	10	10	10

TABLE A.1 – Tableau des compétences des agents pour chaque tâche.

A.2 Dérroulement CPLEX

CPLEX est un puissant solveur d'optimisation capable de résoudre efficacement des problèmes linéaires, quadratiques et mixtes. Dans la suite, nous présenterons l'interface principale de CPLEX.

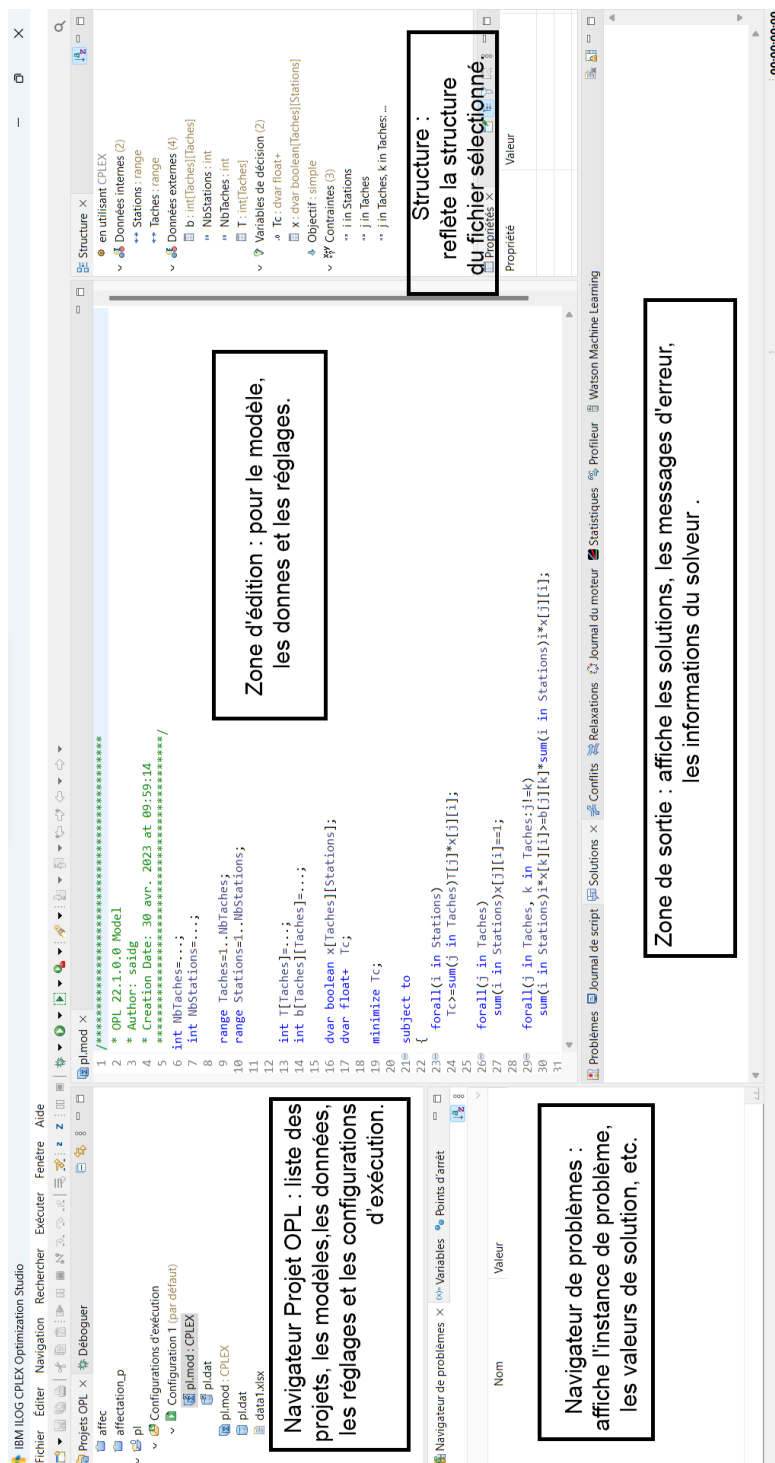


FIGURE A.1 – Fenêtre principale du Solveur CPLEX.

Dans les lignes qui suivent, nous détaillerons brièvement les étapes de résolution du problème (le cas où le nombre de poste égale à 5) avec le solveur CPLEX.

1. **Première étape** : dans cette étape on va introduire les données récoltées au sein de l'entreprise VMS Industrie sur le logiciel Excel pour une meilleure vue des données.

Nb de taches	20
Nb de station	5
Tache	Temps de la tache en seconde
1	62
2	41
3	75
4	36
5	42
6	39
7	36
8	30
9	212
10	29
11	52
12	47
13	49
14	42
15	24
16	22
17	32
18	59
19	97
20	22

FIGURE A.2 – Données collectées à VMS.

	A	B	E	C	D	T	F	S	H	G	I	K	Y	L	N	O	M	P	Q	J
1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FIGURE A.3 – Données collectées à VMS.

2. **Deuxième étape** : on va créer un projet opl dans le logiciel CPLEX, où on va donner un nom pour le projet, et on va coucher tous les configurations nécessaires pour notre

programme.

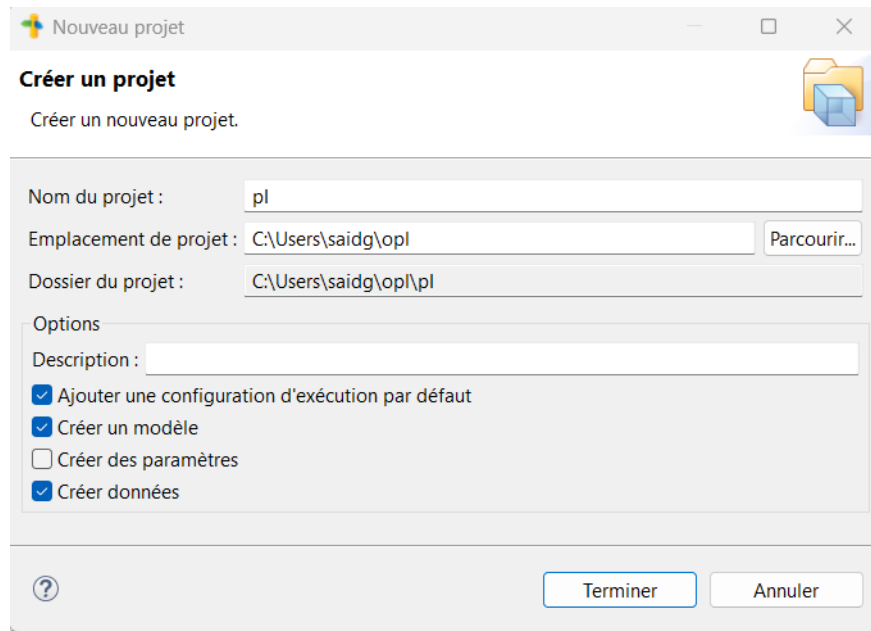


FIGURE A.4 – Création du projet OPL.

3. **Troisième étape** : on va écrire notre modèle dans l'onglet "pl.mod", où on va introduire les constantes et les variables de décision, la fonction objectif, et les contraintes de notre problème.

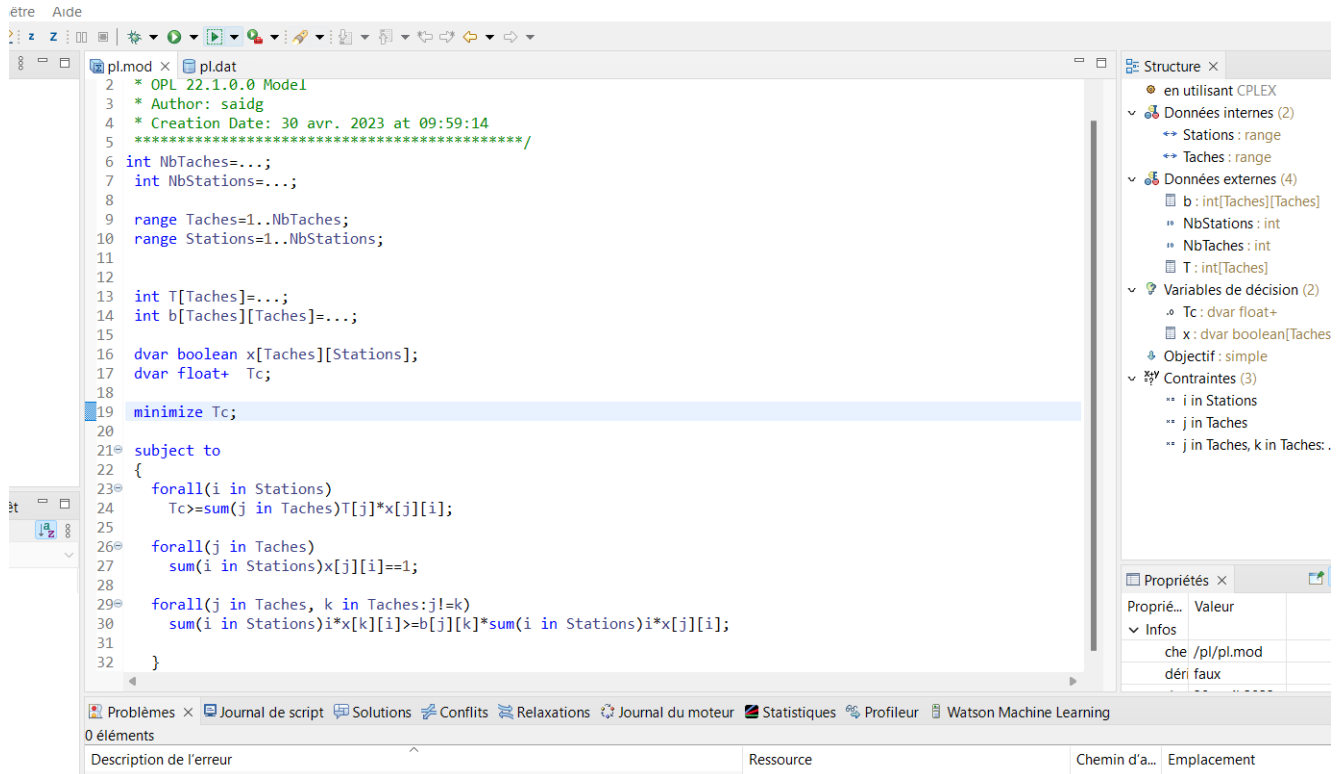


FIGURE A.5 – Insertion de notre modèle mathématique.

4. **Quatrième étape** : on va créer un lien avec notre document Excel pour extraire les données, et les utiliser dans notre modèle.

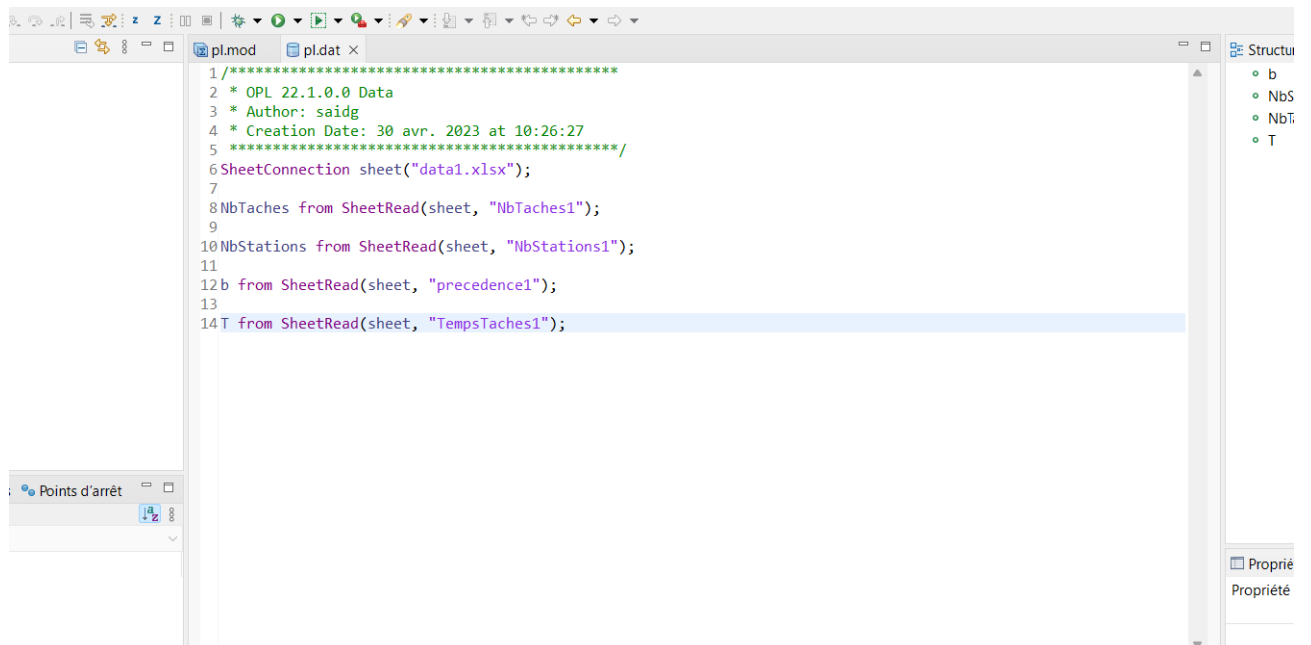


FIGURE A.6 – Création d'un lien entre le modèle et excel.

5. **Cinquième étape** : on va résoudre le modèle, on va vérifier si les données introduite

sont correcte.

Solution avec l'objectif 224		
	Nom	Valeur
Données (6)		
	b	[[0 1 1 1 1 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0...]]
	NbStations	5
	NbTaches	20
	Stations	1..5
	T	[62 41 75 36 42 39 36 30 212 29 52 4...]
	Taches	1..20
Variables de décision (2)		
	Tc	224
	x	[[1 0 0 0] [1 0 0 0] [1 0 0 0] [0 ...]]

FIGURE A.7 – Résultat de la résolution.

6. Sixième étape : on va faire l'interprétation des résultats.

Taches (taille 20)	Stations (taille 5)				
	1	2	3	4	5
1	1	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0
5	0	1	0	0	0
6	0	1	0	0	0
7	0	1	0	0	0
8	0	1	0	0	0
9	0	0	1	0	0
10	1	0	0	0	0
11	0	0	0	1	0
12	0	0	0	1	0
13	0	0	0	1	0
14	0	0	0	1	0
15	0	0	0	0	1
16	0	0	0	0	1
17	0	0	0	1	0
18	0	0	0	0	1
19	0	0	0	0	1
20	0	0	0	0	1

FIGURE A.8 – Résultats de l'affectation.

A.3 Déroulement Excel

Excel est un logiciel tableur de Microsoft Office qui permet de gérer et d'analyser des données dans des feuilles de calcul. Parmi les fonctionnalités qu'il a on peut citer le solveur d'excel qui est utilisé pour trouver une valeur optimale (maximale ou minimale) pour une formule dans une cellule objectif, en fonction de contraintes ou de limites appliquées aux valeurs d'autres cellules de la formule.

La figure suivante représente la fenêtre qu'on a lors de l'ouverture du solveur.

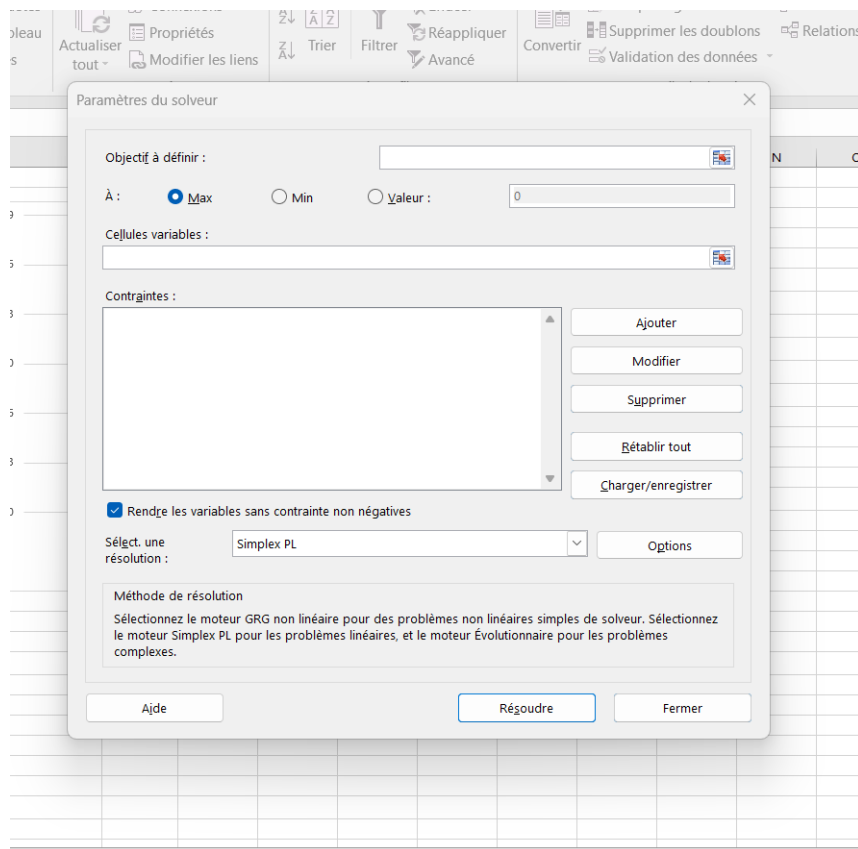


FIGURE A.9 – Fenêtre du solveur Excel.

Pour résoudre le problème problème d'affectation du personnel om a suivi les étapes suivantes :

1. **Première étape** : on doit tous d'abord introduire les données collecté sur une feuille Excel.

	Poste 01	Poste 02	Poste 03	Poste 04	Poste 05
	1	2	3	4	5
1	40	49	5	37	32
2	40	33	3	32	24
3	29	49	5	32	30
4	37	49	10	38	30
5	27	47	10	32	28
6	27	49	10	32	28
7	27	39	3	46	33
8	40	49	10	49	45
9	36	49	5	48	50
10	28	47	5	48	42
11	36	49	7	50	50
12	33	49	9	43	46

FIGURE A.10 – Tableau des compétences.

2. **Deuxième étape** : créer une matrice pour la variable de décision qui représente l'affectation d'un agent à un poste, et on va créer nos contraintes, et on va terminer par écrire notre fonction objectif.

	Poste 01	Poste 02	Poste 03	Poste 04	Poste 05				Somme
	1	2	3	4	5				
1	0	0	0	0	0	0	=<		1
2	0	0	0	0	0	0	=<		1
3	0	0	0	0	0	0	=<		1
4	0	0	0	0	0	0	=<		1
5	0	0	0	0	0	0	=<		1
6	0	0	0	0	0	0	=<		1
7	0	0	0	0	0	0	=<		1
8	0	0	0	0	0	0	=<		1
9	0	0	0	0	0	0	=<		1
10	0	0	0	0	0	0	=<		1
11	0	0	0	0	0	0	=<		1
12	0	0	0	0	0	0	=<		1
	0	0	0	0	0				
	=	=	=	=	=				
Somme	2	2	2	2	2				
						Fonction objectif	=		0

FIGURE A.11 – Matrice des variables de décision, les contraintes et la fonction objectif.

3. **Troisième étape** : après avoir introduit tous les données, on arrive à l'étape de la résolution avec le solveur, dans cette étape on insérer la fonction objectif, les variables de décision, et nos contraintes.

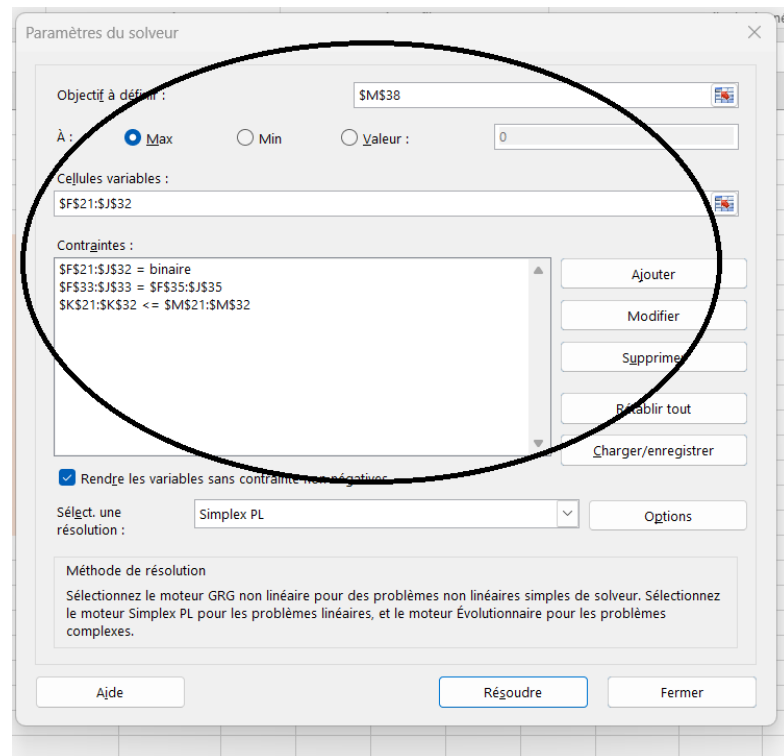


FIGURE A.12 – Insertions de la fonction objectif, les variables de décision et des contraintes.

4. **Quatrième étape** : dans cette étape c'est la résolution du problème on va sélectionner la méthode de résolution "Simplex PL" pour les problèmes linéaire, "GRG non linéaire" pour les problèmes non linéaire simple, et "Évolutionnaire" pour les problèmes complexes. Et on clique sur résoudre pour avoir le résultat.

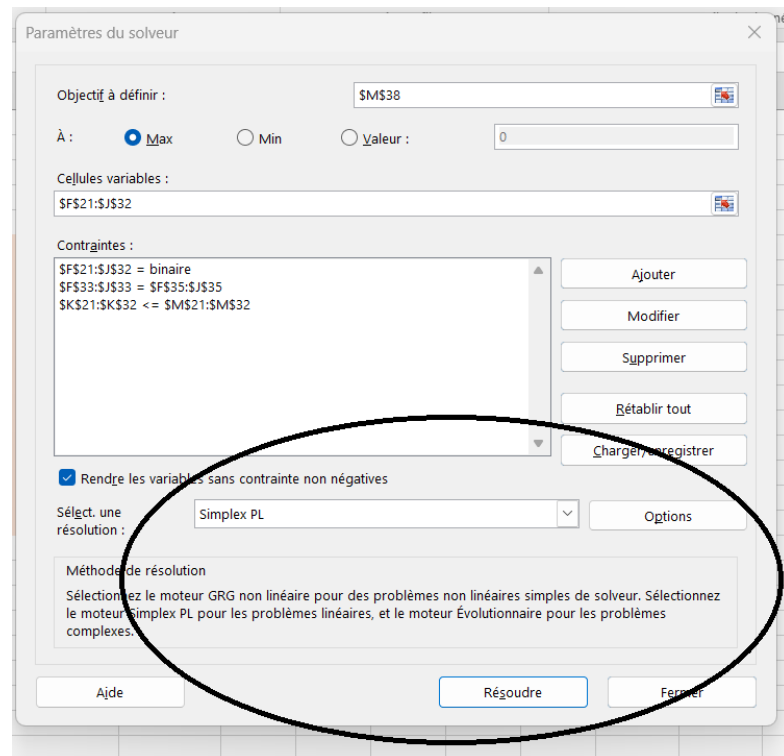


FIGURE A.13 – Choisir la méthode "Simplex PL" et cliquer sur résoudre.

Après avoir cliquer sur résoudre une fenêtre qui donne un rapport sur la solution trouvée, s'affiche qui est la suivante :

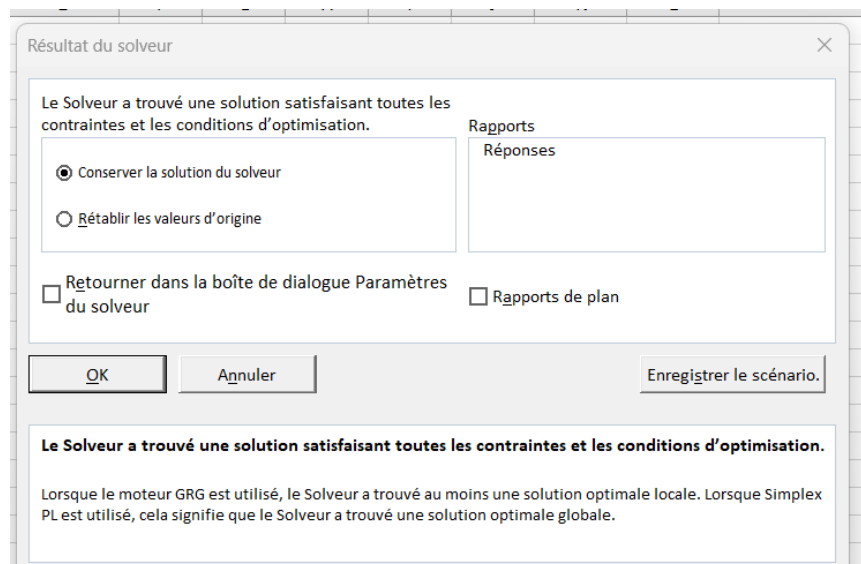


FIGURE A.14 – Petit rapport sur la solution trouvée.

Cliquer sur "OK" pour voir le résultat.

		Poste 01	Poste 02	Poste 03	Poste 04	Poste 05			
		1	2	3	4	5			Somme
1		1	0	0	0	0	1	=<	1
2		1	0	0	0	0	1	=<	1
3		0	1	0	0	0	1	=<	1
4		0	0	1	0	0	1	=<	1
5		0	0	1	0	0	1	=<	1
6		0	0	0	0	0	0	=<	1
7		0	0	0	0	0	0	=<	1
8		0	0	0	1	0	1	=<	1
9		0	0	0	0	1	1	=<	1
10		0	0	0	1	0	1	=<	1
11		0	0	0	0	1	1	=<	1
12		0	1	0	0	0	1	=<	1
		2	2	2	2	2			
		=	=	=	=	=			
Somme		2	2	2	2	2			
							Fonction objectif	=	395

FIGURE A.15 – Résultat de la résolution avec le solveur.

Bibliographie

- [1] 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 AMIMER ENERGIE*. mémoire Master. Université A / MIRA de Bejaia, 2020.
- [2] S.Kadri & K.Kartout. *Ordonnancement et Affectation des tâches du cycle de production : Cas de l'entreprise Ifri*. mémoire Master. Université A / MIRA de Bejaia, 2015.
- [3] N.Fedala & S.Drif. *Planification des besoins en composants : Cas de l'entreprise Général Emballage d'Akbou*. mémoire Master. Université A / MIRA de Bejaia, 2016.
- [4] *Documentation de L'entreprise*.
- [5] C.Mancel. *Modélisation et résolution de problème d'optimisation combinatoire issus d'application spatiale*. thèse de doctorat. Institut national des sciences appliquées de Toulouse, 2004.
- [6] L.Kherbouche & Z.Oubahri. *Quelques méthodes de résolutions en optimisation combinatoire*. mémoire Master. Université M/MAMMERI de Tizi ouzou, 2017.
- [7] M.Salveson. The assembly line balancing problem. *Journal of Industrial Engineering*, 6(3), 1955.
- [8] N.Boysen & M.Fliedner & A.Scholl. Assembly line balancing : Which model to use when? *International Journal of Production Economics*, 111(2), 2008.
- [9] K.Yahiaoui & H.Helhal & A.Megerbi. Heuristiques pour la résolution du problème equilibrage des lignes d'assemblages. *International Journal of Scientific Research Engineering Technology - IJSET*, 5, 2017.
- [10] O.Battaïa & A.Dolgui. Configuration des lignes d'usinage à boîtiers multibroches : une approche mixte. *RAIRO-Operations Research*, 43, 2009.
- [11] C.Blum. Iterative beam search for simple assembly line balancing with a fixed number of work station. *ALBCOM Research Group*, 2010.
- [12] C.Boughani. *Cours d'optimisation combinatoire*. Université A.MIRA Bejaia, 2015.

- [13] S.Maqtrot. *Méthodes d'optimisation combinatoire en programmation mathématique. Application à la conception des systèmes de verger-maraîcher*. thèse de doctorat. Université de Toulouse 3 Paul Sabatier, 2019.
- [14] <https://www.ibm.com/products/ilog-cplex-optimization-studio>.
- [15] <https://www.localsolver.com/docs/last/quickstart/localsolverintroduction.html>.
- [16] <https://support.microsoft.com/fr-fr/excel>.

Résumé

L'optimisation des processus de production est devenue essentielle pour une entreprise qui veut rester compétitive sur le marché. Ce mémoire aborde un problème couramment rencontré par de nombreuses entreprises, connu sous le nom de SALBP (Simple Assembly Line Balancing Problem). L'objectif de cette étude est d'améliorer l'organisation des tâches de la ligne d'assemblage 01 de VMS Industrie en répartissant de manière efficace les tâches entre les différents postes de la section assemblage final.

Pour résoudre ce problème, nous avons réalisé en premier lieu, une modélisation de la situation actuelle, puis nous avons utilisé le logiciel CPLEX pour obtenir des solutions optimales. En second lieu, nous avons proposé une réaffectation du personnel afin de déterminer quels agents devaient être attribués à chaque poste de travail.

Les résultats obtenus ont démontré que cette méthode permet d'équilibrer efficacement les charges de travail entre les différents postes tout en maximisant l'utilisation des ressources disponibles. Cette approche s'est révélée extrêmement bénéfique pour améliorer significativement les performances globales de l'entreprise VMS.

Mots clés : Simple Assembly Line Balancing Problem (SALBP), CPLEX, solveur d'Excel, équilibrage des lignes d'assemblage, problème d'affectation, optimisation, VMS Industrie.

Abstract

The optimization of production processes has become essential for a company that wants to remain competitive in the market. This dissertation addresses a commonly encountered problem by many businesses, known as SALBP (Simple Assembly Line Balancing Problem). The objective of this study is to improve the task organization of assembly line 01 at VMS Industrie by efficiently distributing tasks among the various workstations in the final assembly section.

To solve this problem, we first modeled the current situation and then used the CPLEX software to obtain optimal solutions. Secondly, we proposed a reallocation of personnel to determine which agents should be assigned to each workstation.

The obtained results demonstrated that this method effectively balances workloads among the different workstations while maximizing the utilization of available resources. This approach has proven to be extremely beneficial in significantly improving the overall performance of VMS Industrie.

Keywords : Simple Assembly Line Balancing Problem (SALBP), CPLEX, Excel solver, assembly line balancing, assignment problem, optimization, VMS Industrie.

Agzul

Aseggem n ukala n ufares yuḡal d agejdan i tkebbanit i yebḡan ad tt-qqim deg rreḡba. Tazrewt-a d tin d-yewwin awal ḡef tmukrist d-ttemlillent aḡas n tkebbaniyin, yettwasnen s yisem n SALBP (Simple Assembly Line Balancing Problem). Iswi n tezrewt-a, d aseggem n tudsas d twuriwin n uzlem n usdukkel N VMS tamḡuri s ufraḡ s wudem yelhan tiwuriwin ḡar yimukan yemḡaraden deg tayunt n usdukel taneggarut.

Iwakken ad t-yefru wuḡur-a, nexdem deg tama tamenzut aseḡzan CPLEX iwakken ad nawi tifat yelhan. Deg tama tis snat, nsuter aḡiwed n yimukan n yixeddamen iwakken ad nwali anwa amekkan iwulmen deg yal amḡiq ad yettwaceyyeε ḡur-s.

Agemmuḡ d-newwi yesbgen-d akken tarrayt-a d tin yusurfen ad yili uselḡu deg twuriwin deg yimḡqan yemḡraden war ma terna-d lexsara i tkebbanit. Aseqreb-a d win d-ibannent yesεa azal muḡren iwakken ad yili useggem s umata deg tkebbanit n VMS.

Awalen n tsura : Simple Assembly Line Balancing Problem (SALBP), CPLEX, Excel solver, assembly line balancing, assignment problem, optimization, VMS Industrie.