

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



Mémoire de fin de Cycle

en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Mathématiques Appliquées

Option : Modélisation Mathématique et Techniques de Décision

Optimisation du Trafic au sol au niveau de l'Aérodrome de Béjaia



présenté par : **Begga Wissam** et **Maouche Nassima**

Devant les jurys composé de :

M ^{me}	OUIZA LEKADIR	PROFESSEUR	Présidente	UAMB - Bejaia.
M ^r	NOUREDDINE KHIMOUM	M.C.B	Encadreur	UAMB - Bejaia.
M ^{me}	NAOUEL HALIMI	M.C.B	Examinatrice	UAMB - Bejaia.
M ^{lle}	RIMA GUERBANE	DOCTORANTE	Examinatrice	UAMB - Bejaia.

Année Universitaire 2020 – 2021

- Remerciement -

Nous remercions notre DIEU qui nous a ouvert les portes du savoir et nous a permis de réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier vivement Mr KHIMOUM.N, notre promoteur, de nous avoir encadrée, nous lui exprimons notre gratitude pour sa disponibilité, ses sérieux conseils et le soutien qu'il nous a apporté tout au long de la préparation de ce mémoire.

Nous remercions également tout le personnel de l'Aéroport de Béjaia, plus particulièrement *M^r* SABRI.R, du service ENNA , Nos vifs remerciements s'adressent aux membres de jury qui ont aimablement accepté de nous honorer en lisant ce mémoire pour évaluer et apprécier notre travail, nous espérons qu'ils soient satisfaits.

Nous témoignons une reconnaissance particulière à l'ensemble des enseignants qui nous ont suivis pendant notre cursus. En fin, nous remercions tous ceux qui nous ont encouragé tout au long de notre parcours universitaire et ceux qui ont attribué a notre formation de pris ou de loin.

- Dédicaces -

Je tiens avec grand plaisir que je dédie ce modeste travail aux personnes chères à mon coeur.

Ã mes parents , qui ont su m'inculquer une éducation de sagesse et de claire voyance.

Ã mes frères Salim, Djaafar et Fares.

Ã mes soeurs Fatiha, Nawel et Souad.

Ã mon soutien moral et source de joie et de bonheur, mon mari Hocine

Ã mes neveux Boussaad et Ghilas.

Ã mes nièces Nélia, Safia et Ryma

Ã ma grand-mère LUIZA, mes tantes ,mes oncles et leurs enfants.

Ã ma belle famille, mes amies DYHIA, Cylia, Hayette, Wissem , Djohra, Lili et a tous mes amis de promotion Master deux en RO, qui m'ont soutenu tout au cours de réalisation de ce travail.

Ã mon binôme Nassima.

Wissam

- Dédicaces -

Je dédie ce travail, aux êtres les plus chers, et à qui je dois reconnaissance et dévouement et en qui
ne cesserai de remercier à savoir :

Mes deux nobles familles « *MAOUCHE ET RAHMOUNE* »

Mon très cher père, pour tous les efforts et les sacrifices que tu n'as jamais cessé de consentir pour
mon instruction et mon bien-être.

Ma très chère mère, ta prière et ta bénédiction m'ont été un grand secours pour mener à bien mes
études.

Mes soeurs : Rosa et son mari Lghani, Ourida, Thilleli, Katia.

Mes grands-parents.

Mes tantes : Nassima, Kahina et leurs enfants : Karim, Yanis, Ilyas.

Mes oncles : Karim, Yazid, Hacene.

Ma chère amie et binôme Begga Wissam et sa famille.

Mes amies : Souad, thilleli, Céline, ahlem, Sissy, Sarah,...

Ma deuxième famille les membres de l'association culturelle « *IMNAYENE KIRIA* » .

NASSIMA

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières	i
Liste des Tableaux	1
Table des Figures	1
<i>Notations</i>	1
Introduction Générale	3
1 Organisation Physique de l'Aérodrome (ENNA)	4
1.1 Présentation de l'Aéroports de Bejaia	4
1.2 Structure de l'Aéroport de Béjaia	5
1.2.1 Compagnies aériennes	6
1.2.2 EGSA : (Etablissement de Gestion des Services Aéroportuaires)	7
1.2.3 ONM :(Office National de la météorologie)	7
1.2.4 Naftal aviation :	7
1.2.5 l'ENNA / Béjaia	7
1.3 Présentation de la compagnie Air Algérie	8
1.3.1 Mission de la compagnies	9
1.3.2 Objectifs de la compagnie	9
1.3.3 Présentation de l'organisme d'accueil	10
Conclusion	11
2 Rappels Théoriques	12

2.1	Introduction	12
2.2	Optimisation Combinatoire (OC)	12
2.3	Quelques problèmes connus en OC	13
2.3.1	Problème de sac à dos	13
2.3.2	Problème d'affectation	14
2.3.3	Problème du Bin Packing	15
2.4	Méthodes de Résolution	16
2.4.1	Méthodes exactes	16
2.4.2	Heuristiques	21
2.4.3	Algorithmes gloutons	22
3	Formulation et Position du problème	24
3.1	Position du problème	25
3.2	Analyse de l'existant	25
3.3	Concepts de base	27
3.3.1	Tâches	27
3.3.2	Vacations	27
3.3.3	Personnel au sol	28
3.4	Conclusion	28
4	Modélisation, résolution et implémentation	29
4.1	Modélisation du problème	30
4.1.1	Génération de vacations	30
4.1.2	Variables de décision	32
4.1.3	Contraintes	33
4.1.4	Fonction Objectif	34
4.2	Heuristique proposée pour la résolution du problème posé	35
4.3	Implémentation	36
4.4	Conclusion	39
	Conclusion Générale	42

NOTATIONS

Abréviation et Signification

ONM : Office national de la météorologie

ENNA : Etablissement national de la navigation aérienne

EGSA : Etablissement de gestion des services aéroportuaire

DSA : Direction de la sécurité aérienne

BIA/BP : Bureaux d'Information Aéronotique

SSLI : Service de Sauvetage et Lutte contre Incendie

ADP : Assistant de Direction Principal

SGS : Système de Gestion de Sécurité

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La croissance du trafic aérien mondial entraîne des problèmes de capacité tant au niveau de l'espace aérien que des plateformes aéroportuaires, qui se traduisent par de nombreux retards des vols. Les études de la capacité aéroportuaire ont pour objectif d'évaluer et de prévoir les performances d'un aéroport, c'est à dire le débit maximal de trafic, exprimé en mouvements d'avions ou en passagers par unité de temps, qu'il est capable de fournir dans des conditions satisfaisantes pour les usagers. Ces études constituent un élément important d'aide à la décision pour la planification de l'infrastructure et des opérations des aéroports. Cependant, si les études examinent souvent précisément les possibilités d'extensions ou de modifications des infrastructures (terminaux, taxiways, pistes, ...), elles s'intéressent plus rarement aux questions d'optimisation de la gestion des ressources existantes. Certains de ces problèmes peuvent pourtant être formulés comme des problèmes d'optimisation combinatoire, proches de problèmes classiquement étudiés en Recherche Opérationnelle.

Dans le cadre de la préparation de notre projet, l'entreprise nationale de la navigation aériennes (ENNA) de Bejaia nous a proposé de nous pencher sur le problème d'optimisation du trafic aérien au sol au niveau de l'Aéroport de Bejaia vu qu'elle est l'établissement qui assure le service public de sécurité de la navigation aérienne grâce à la tour de contrôle qui est placée de manière à pouvoir suivre visuellement les évolutions des avions sur voies de circulation et sur les pistes, donc c'est le contrôleur qui gère le choix des pistes à utiliser. Donc il est important d'abord de connaître la notation d'un avion dans un aéroport (depuis son atterrissage à son décollage) qui peut être devisé en 5 phases :

1. Atterrissage : L'avion entre en phase d'approche est se pose sur la piste d'atterrissage.
2. Roulage : après avoir atterri, l'avion roule jusqu'à son point de stationnement à travers son

réseau de routes (Taxiways).

3. Operations aux points de stationnement : (le traitement de vol).
4. Roulage : l'avion quitte son point de stationnement et roule vers la piste de décollage.
5. Décollage : l'avion décolle et quitte l'espace aérien de l'aéroport.

L'aéroport de Bejaia est à bord de saturation et les structures actuelles d'opération et de contrôle du trafic aérien ne sont pas en mesure de faire face à la croissance du trafic aérien, à cause de la saturation chaotique de l'aéroport causé par les retards d'atterrissage au décollage d'un vol qui fortement pénalisante pour tout les acteurs du transport aérien (ENNA, Les compagnies, EGSA, ...). Afin de mieux comprendre la notion de retard, il est important de comprendre que les causes de ceux-ci ; les plus fréquents sont dues au transport aérien, plus précisément à tous ceux qui sous son contrôle, la maintenance, les problèmes liés à l'équipage, le traitement des avions en escale, ... Certaines d'entre elles peuvent également être causées par les décisions stratégiques et opérationnelles des compagnies aériennes telles qu'une mauvaise planification des ressources.

Les Operations d'escale au niveau d'aéroport sont réalisées par la compagnie Air Algérie qui assiste tous les avions des autres compagnies par ces propres moyens. Ces différentes opérations doivent se coordonner de façon à réaliser les escales de chaque avion dans le temps imparti, tout en respectant les contraintes d'ordonnancement des tâches pour chaque avion et les contraintes liées à la disponibilité des ressources (matériels/personnels). Dans cette étude nous nous intéressons à la modélisation et à la résolution de problème d'optimisation soulevé par la construction de plannings pour les agents qui travaillent dans un contexte aéronautique : le personnel au sol de la compagnie aérienne.

Le manuscrit est divisé en 4 chapitres. Le premier chapitre abordera la présentation de l'aéroport de Bejaia, l'ENNA de Bejaia ainsi la représentation de l'entreprise Air Algérie. Le deuxième chapitre présente la problématique de création de plannings dans un contexte aéronautique qui sera décrit par la suite. Le troisième chapitre passe en revue des problèmes d'optimisation combinatoire qui émergent à différents stades de la planification d'horaires : le problème d'affectation, le problème de sac à dos, le problème de bin-packing. Quelques techniques de base retenues pour la résolution de ces problèmes. Le quatrième chapitre abordera la modélisation du problème posé, la résolution et implimentation.

ORGANISATION PHYSIQUE DE L'AÉRODROME (ENNA)

Introduction

A l'instar des autres modes de transports, l'usage du transport aérien nécessite des installations et infrastructures appropriées, utiles pour répondre favorablement aux besoins de ses usagers, qui sont non seulement les voyageurs, les expéditeurs de marchandises, mais aussi les services publics, les services des transporteurs et du gestionnaire de l'aéroport.

1.1 Présentation de l'Aéroports de Bejaia

L'aéroport de Béjaia-Soummam-Abane-Ramdane [(code AITA "Association International du Transport Aérien " : BJA) ; (code OACI " Organisation de l'Aviation Civile Internationale : DAAE)] est un aéroport civil international ouvert à la circulation aérienne publique.



FIGURE 1.1: Aéroport de Béjaia, Abane Ramdane

Il a été baptisé "Aéroport de Bejaia Soummam" entre 1982 et 1999, du nom du fleuve la Soummam qui se jette dans la Méditerranée à Béjaia. L'aéroport a été inauguré en 1982 pour les vols nationaux, et en 1993 pour les vols internationaux. Il a été rebaptisé Aéroport Soummam-Abane-Ramdane en 1999, en hommage à l'homme politique algérien qui a joué un rôle essentiel dans l'histoire de la guerre d'indépendance algérienne.

1.2 Structure de l'Aéroport de Béjaia

L'Aéroport de Béjaia est organisé comme suit :

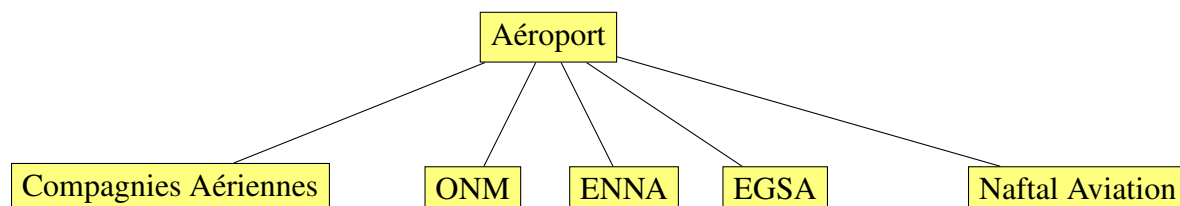


FIGURE 1.2: Organigramme de l'Aéroport de Béjaia

1.2.1 Compagnies aériennes

Sont des prestataires de services du transport de voyageurs et du fret à bord d'avion ; les compagnies qui fréquentent régulièrement l'aéroport de Bejaia sont :

- **Air Algérie** : (code AITA : AH ; code OACI : DAH) Est la compagnie aérienne nationale algérienne. Elle a été créée en 1947, quand fut constituée la compagnie générale de transport (C.G.T), dont le réseau était principalement orienté vers la France ; Elle est dotée de 56 appareils (A330-20 ; B737-800 ; B737-700 ; B737-600 ; ATR72-212 ; HERCULE L100-30...).
- **Tassili Air Lines** : (code AITA : SF ; code OACI : DTH) Est une compagnie aérienne algérienne filiale de l'entreprise pétrolière sonatrach. Elle assure des vols réguliers intérieurs et le transport des ouvriers vers les gisements de pétrole et du gaz du Sahara algérien, sa plate-forme de correspondance principale est l'aéroport d'Alger. Elle est dotée de 12 appareils (B737 ; DASH-8 Q400 ; DASH-8 Q200...).
- **Transavia France** : (code AITA : TO ; code OACI : TVF) est une compagnie aérienne à bas prix Française appartenant à Air France et Transavia Airline basée à l'Aéroport de Paris-Orly. Elle partage son identité visuelle, son site web et son modèle d'exploitation avec sa société sœur néerlandaise Transavia, Elle est dotée de 77 avions Boeing 737-800 et de 6 avions Boeing 737-700.
- **TUI Fly Bergin** : (Code AITA : TB ; Code OACI : JAF) est le nom commercial de la compagnie aérienne à bas prix belge TUI Airlines Belgium S.A. qui exploite des vols réguliers. Elle fait partie du plus grand groupe international de tourisme au monde, Elle est dotée de 34 appareils (5 de type B737-700 ; 18 de type B737-800 ; 4 de type B737 Max8 ; 1 de type B767-300ER ; 2 de type 787-8 ; 4 de type Embraer E-Jet 190).
- **ASL Airlines France** : est une compagnie aérienne française basée à l'Aéroport de Paris-Charles-de-Gaulle, commune de Tremblay-en-France. Elle est la filiale du groupe irlandais ASL Airlines, Elle est dotée de 19 appareils (7 de type Boeing 737-400F ; 2 de type

Boeing 737-800 et de 6 avions de type Boeing 737-700).

1.2.2 EGSA : (Etablissement de Gestion des Services Aéroportuaires)

L'établissement de Gestion des Services Aéroportuaires (EGSA) est un établissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC), qui gère les services (le confort des voyageurs), les espaces (gestion et location des locaux commerciaux) et les terrains (entretien et manutention) au sein de la plateforme aéroportuaire. EGSA veille aussi à l'hygiène et à la sécurité dans l'enceinte de la zone publique (aérogare) et de la zone technique (piste d'atterrissage, parking avions).

1.2.3 ONM : (Office National de la météorologie)

Est un établissement public à caractère Industriel et Commercial (EPIC), chargé de l'analyse et de la prévision météorologique ainsi que l'assistance des contrôleurs aériens en temps réel.

1.2.4 Naftal aviation :

Cet établissement est une Société par Action (SPA), filiale de SONATRACH, qui a pour rôle de veiller sur le ravitaillement des aéronefs en carburant.

1.2.5 l'ENNA / Béjaia

L'ENNA "établissement Nationale de la Navigation Aérienne" Est un Établissement Public à caractère Industriel et Commercial. Il a pour mission d'assurer le service public de la sécurité de la navigation aérienne dans l'espace aérien algérien pour le compte et au nom de l'état algérien.

Parmi ses missions principales, on mentionne :

- Assurer le service public de la sécurité de la navigation aérienne pour le compte et au nom de l'état.
- Mettre en oeuvre la politique nationale dans ce domaine, en coordination avec les autorités concernées et les institutions intéressées.

- Assurer la sécurité de la navigation aérienne dans l'espace aérien national ou relevant de la compétence de l'Algérie ainsi que sur et aux abords des aérodromes ouverts à la circulation aérienne publique.
- Veiller au respect de la réglementation des procédures et des normes techniques relatives à la circulation aérienne et l'implantation des aérodromes, aux installations et équipements relevant de sa mission.
- Assurer l'exploitation technique des aérodromes ouverts à la circulation aérienne publique.
- Assurer la concentration, diffusion ou retransmission au plan national et international des messages d'intérêt aéronautique ou météorologique.

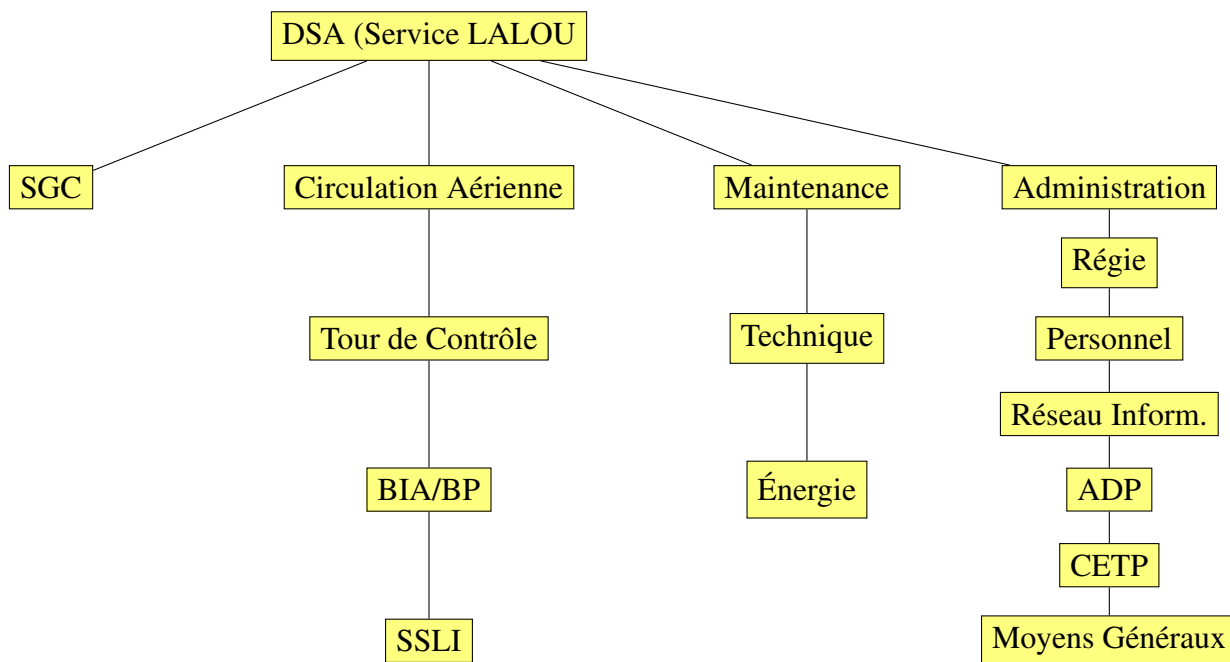


FIGURE 1.3: Organigramme de l'ENNA / Béjaia

1.3 Présentation de la compagnie Air Algérie

Air Algérie (code IATA : AH ; code OACI : DAH) est la compagnie aérienne nationale algérienne. Elle fut créée en 1947, quand fut constituée la Compagnie Générale de Transport (C.G.T), dont le réseau était principalement orienté vers la France. Elle dessert 32 destinations sur le ter-

ritoire algérien. Elle est membre de l'association internationale du transport aérien, de l'Arab Air Carriers Organisation et de l'Association des Compagnies aériennes Africaines.

1.3.1 Mission de la compagnies

Air Algérie est une entreprise de prestation de service dans le domaine des transports aériens, de passagers et de fret, elle se charge d'assurer :

Transport aérien L'exploitation des lignes internationales dans le cadre des conventions. - L'exploitation des lignes intérieures pour garantir les transports publics, réguliers et non réguliers, des personnes et leurs bagages ainsi que le transport des marchandises.

Travail aérien L'offre de prestation de services à des fins commerciales, éducatives et scientifiques pour les besoins de l'agriculture, de protection, de l'hygiène publique, de l'action sanitaire et de transport de personnes et de marchandises à la demande, sans préjudices des attributions d'autres organismes.

Gestion d'exploitation La vente et l'émission des titres de transport pour son compte ou pour le compte d'autres compagnies de transport (l'achat et l'affrètement d'aéronefs, et le ravitaillement des avions).

Exploitation technique L'obtention de toute licence, tout permis de survol et toute autorisation d'états étrangers pour l'accomplissement des opérations d'entretien, de réparation, de révision et toute opération de maintenance d'équipement et des types d'aéronefs, soit pour son propre compte, soit pour le compte des tiers dans le cadre des conventions d'assistance.

1.3.2 Objectifs de la compagnie

Les objectifs de la compagnie sont essentiellement de :

- Satisfaire de manière ponctuelle et régulière la demande de la clientèle.
- Favoriser la mobilité sociale à travers le territoire national en mettant l'avion à la portée de tout le monde.
- Fidéliser la clientèle et améliorer la qualité de service (confort, sécurité, hygiène).
- Améliorer l'image de la compagnie.
- Augmenter les parts de marché.

– Contribuer à l'équilibre régional.

Afin de situer notre travail nous allons présenter l'organigramme de la structure générale de la Compagnie Air Algérie.

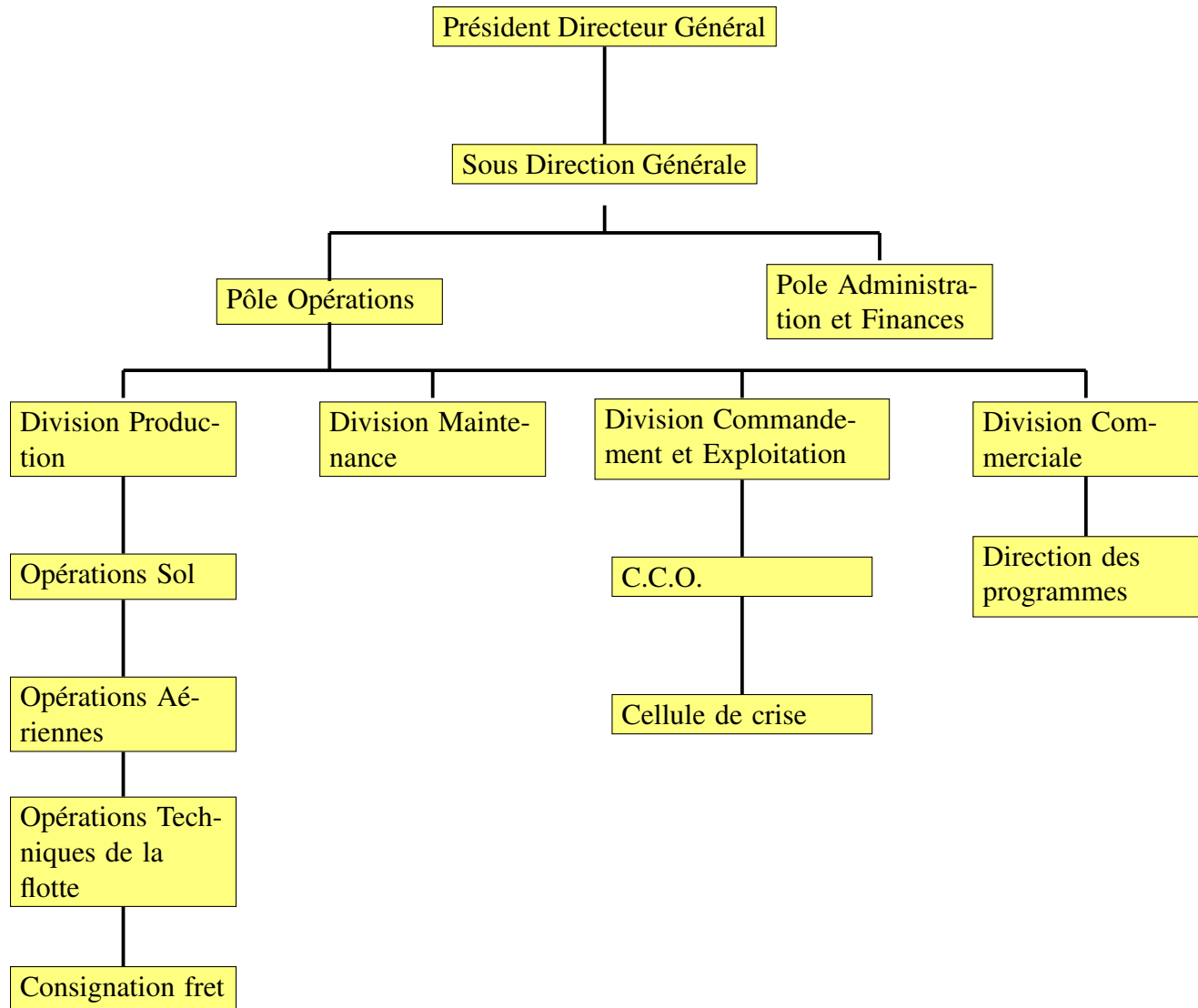


FIGURE 1.4: Structure générale de la compagnie Air algérie

1.3.3 Présentation de l'organisme d'accueil

Sous la responsabilité de la Division commerciale, la Direction des Programmes a pour mission de gérer :

– La planification et la mise en oeuvre d'un programme de vols optimisé,

- La planification et l'élaboration du planning individuel du personnel navigant. La combinaison et l'intégration de ces deux processus complexes permet d'assurer une efficacité et une utilisation optimales des ressources en matière de flotte et Personnel Navigant. La Direction des Programmes est chargée également du lancement et du suivi des dossiers d'affrètement des aéronefs. La Direction couvre quatre (04) secteurs d'activité qui garantissent une optimisation des ressources,
- La Programmation Flotte : Rotation Avions,
- La Programmation PN (Personnel Navigant) : Rotation équipages et affectation PN,
- Affrètements frètements,
- Les Ressources Humaines.

1.3.3.1 Missions de la Direction des Programmes

- Conception et mise en oeuvre d'un programme d'exploitation optimal.
- Contribution à l'amélioration des parts de marchés de la compagnie.
- Elaboration du programme individuel du personnel navigant.
- Construction des rotations équipages.
- Affectation des rotations au personnel navigant.
- Réalisation, suivi, réajustement et contrôle permanent du programme de vol et des équipages .
- Bilan et évaluation du programme d'exploitation .
- Obtention des créneaux horaires d'aéroports .
- Affrètement des capacités manquantes .
- Gestion des accords inter gouvernementaux et inter compagnies .
- Gestion des bases de données relatives à l'utilisation des avions et des équipages.
- Gestion, suivi et Formation du Personnel de la Direction des Programmes.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'aéroport de Bejaia-Soummam-Abane Ramdane, l'organisme d'accueil ENNA et la compagnie aérienne nationale "Air Algérie".

RAPPELS THÉORIQUES

2.1 Introduction

Avant d'aborder les chapitres suivants portant sur l'élaboration de plannings journaliers, nous exposons quelques définitions et outils mathématiques exploités pour formuler et modéliser le problème considéré.

2.2 Optimisation Combinatoire (OC)

Un problème d'optimisation consiste à chercher une instantiation d'un ensemble de variables soumises à des contraintes, de façon à maximiser ou minimiser un ou plusieurs critères. Lorsque les domaines de valeurs des variables sont discrets, on parle alors de problèmes d'optimisation combinatoire (?), qui s'avère un outil indispensable combinant diverses techniques des mathématiques discrètes et de l'informatique. Son importance se justifie par de nombreuses applications pratiques pouvant être formulées sous la forme d'un problème d'optimisation combinatoire. Bien que les

problèmes d'optimisation combinatoire soient souvent faciles à définir, ils sont généralement difficiles à résoudre. En effet, la plupart de ces problèmes appartiennent à la classe des problèmes NP-difficiles et ne possèdent pas, à ce jour, de solution algorithmique efficace valable pour toutes les données. Formellement, nous avons la définition suivante :

Définition 1 (?, ?) *Un problème d'OC est défini à partir d'un ensemble fini S et d'une application $f : S \mapsto \mathbb{R}$. Il s'agit de déterminer un élément \hat{s} dans S tel que :*

$$f(\hat{s}) = \min_{s \in S} f(s) \quad (2.1)$$

Remarque 1 *Le problème consistant à rechercher un élément maximal est de même nature puisque :*

$$\max f(x) = - \min(-f(x)).$$

Définition 2 (?, ?) *Considérons le problème d'optimisation combinatoire de la Définition*

1. S'il existe un ensemble E et une application $C : E \mapsto \mathbb{R}$, tels que :

$$- S \subset \mathcal{P}(E)$$

-

$$f(S) = \sum_{e \in S} C(e)$$

le problème (1) est dit problème d'optimisation combinatoire à fonction objectif séparée.

2.3 Quelques problèmes connus en OC

2.3.1 Problème de sac à dos

Le problème de sac à dos est un problème classique d'optimisation combinatoire appartenant à la classe des problèmes NP-complets. L'énoncé de ce problème est simple : Étant donné un ensemble de n objets, où chaque objet o_i est caractérisé par un poids w_i et un profit c_i , on cherche le sous-ensemble d'objets à charger dans un sac de capacité w afin de maximiser la somme des profits. Le problème se formule ainsi :

$$\begin{aligned}
\max z(x) &= \sum_{i=1}^n c_i x_i, \\
\sum_{i=1}^n w_i x_i &\leq w, \\
x_i &\in \{0, 1\}, \forall i = 1, \dots, n.
\end{aligned} \tag{2.2}$$

Les poids w_i et les profits c_i ainsi que la capacité w sont des entiers positifs $\forall i = 1, \dots, n$. La variable x_i est la variable de décision, elle prend la valeur 1 si l'objet i est chargé dans le sac, sinon elle prend la valeur 0.

2.3.2 Problème d'affectation

Le problème d'affectation consiste à trouver des liens entre les éléments de deux ensembles distincts, de manière à minimiser un coût et à respecter des contraintes d'unicité de lien. Soit un ensemble de m opérations qui doivent être exécutées par n ressources, $n \geq m$.

Chaque couple (opération i , ressource j , $i = 1 \dots m$, $j = 1 \dots n$) a un coût associé c_{ij} , qui représente la dépense associée à la réalisation de l'opération i par la ressource j . En supposant que chaque opération doit être exécutée une seule fois et que chaque ressource est utilisée au plus par une seule opération. le problème peut être modélisé de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \\
\sum_{j=1}^n x_{ij} &= 1, \forall i = 1, \dots, m, \\
\sum_{i=1}^m x_{ij} &\leq 1; \forall j = 1, \dots, n, \\
x_{ij} &\in \{0, 1\}, \forall i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n.
\end{aligned} \tag{2.3}$$

où x_{ij} est une variable binaire associée à chaque paire (opération i , ressource j) et qui vaut 1 si l'opération i est effectuée par la ressource j et 0 sinon. Si l'on considère que X_1 représente l'ensemble des opérations ($|X_1| = m$) et X_2 l'ensemble des ressources ($|X_2| = n$) du problème (2.3), avec $m \leq n$ alors chaque arête entre un sommet i de X_1 et un sommet j de X_2 signifie que

l'opération i peut être effectuée par la ressource j . On associe à chacune de ces arêtes un coût égal à c_{ij} . Comme le coût total d'un couplage est donné par la somme des coûts de chaque arête, le problème d'affectation revient à trouver un couplage de cardinalité m et de coût minimal.

2.3.3 Problème du Bin Packing

Le problème du bin packing considère n objets ayant chacun une taille connue et plusieurs boîtes de même capacité. L'objectif est de placer tous les objets dans un nombre minimum de boîtes en s'assurant que la somme des tailles des objets placés dans chaque boîte est inférieure à la capacité de la boîte en affectant chaque objet dans une et une seule boîte. D'une façon classique, un problème de bin-packing peut être formulé de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \sum_{j=1}^n y_j, \\
 & \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \forall i = 1, \dots, m, \\
 & \sum_{i=1}^m a_i x_{ij} \leq b_j y_j, \forall j = 1, \dots, n, \\
 & x_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n, \\
 & y_j \in \{0, 1\}, \forall j = 1, \dots, n.
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

où m est le nombre des objets à placer dans des boîtes, n est le nombre d'objets, a_i donne la taille de l'objet i , b_j donne la capacité de la boîte j . On considère la variable binaire x_{ij} qui vaut 1 si l'objet i est placée dans la boîte j , 0 sinon et y_j est une variable binaire qui vaut 1 si la boîte j fait partie de la solution, 0 sinon.

Remarque 2 *Le problème de bin-packing est un problème NP-difficile (?). Cependant, il existe de nombreux algorithmes de résolution approchés.*

Exemple 1 *Problèmes Bin Packing On dispose de plaques rectangulaires toutes identiques dans lesquelles on veut placer des pièces rectangulaires sans chevauchement. Les pièces à placer ont des dimensions différentes.*

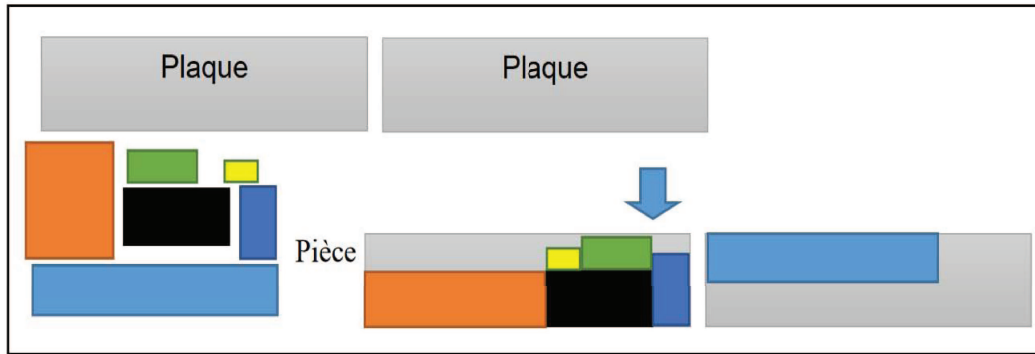


FIGURE 2.1: solution possible du problème de placement des pièces

2.4 Méthodes de Résolution

Au fil des années, de nombreuses méthodes de résolution des problèmes d'optimisation combinatoire, de différentes complexités ont été proposées (?). Ainsi, une grande variété et des différences remarquables au niveau du principe, de la stratégie et des performances ont été discernées. Résoudre un problème d'optimisation combinatoire nécessite d'une part l'étude de l'ensemble des solutions réalisables et l'objectif à optimiser qui relèvent de la modélisation du problème, et d'autre part du choix de la méthode d'optimisation à utiliser qui relève de la résolution numérique du problème considéré. En général, deux catégories de méthodes se présentent pour la résolution des problèmes d'optimisation combinatoire : les méthodes dites exactes et les méthodes approchées. Nous exposons brièvement dans ce qui suit les méthodes et approches de résolution bien connues dans la littérature pour résoudre ce type de problèmes.

2.4.1 Méthodes exactes

Dans les méthodes exactes toutes les solutions de l'espace de recherche sont énumérées implicitement en utilisant des mécanismes qui détectent des échecs (calcul de bornes). Grâce à ces méthodes on peut trouver des solutions optimales. Mais ces méthodes s'avèrent, malgré les progrès réalisés, plutôt inefficaces à mesure que la taille du problème devient importante. En effet, les méthodes exactes ont permis de trouver des solutions optimales pour des problèmes de taille raisonnable et rencontrent généralement des difficultés face aux applications de taille importante. Dans cette classe des méthodes exactes qui explorent l'espace de recherche de façon implicite, on

peut citer :

Programmation dynamique Basée sur des relations de récurrence et recherche rétrograde de parcours dans un graphe, avec absence de retour en arrière.

Méthodes arborescentes de type séparation/évaluation (Branch-and-Bound).

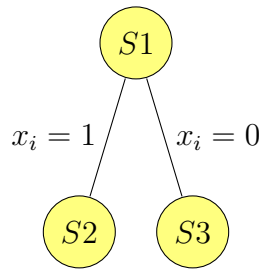
Programmation mathématique du type linéaire en variables mixtes, décomposée en 2 phases itératives :

- Relaxation des contraintes d'intégrité et résolution par une méthode de simplex ou de points intérieurs.
- Réintégration des contraintes d'intégrité et résolution par méthodes arborescentes ou des méthodes de coupe.

Par ailleurs, l'ensemble des solutions réalisables pour un problème d'optimisation combinatoire est en général fini mais de cardinalité très grande. Ainsi, il n'est pas toujours facile de trouver une solution optimale dans un temps d'exécution raisonnable et s'avèrent très coûteuses en temps et espace mémoire des ordinateurs.

2.4.1.1 Résolution du problème du sac à dos

L'un des algorithmes fréquemment utilisé pour résoudre ce type de problème est la programmation dynamique. Ce type d'algorithme s'appuie sur le fait que le problème peut se décomposer en sous-problèmes de même nature. L'idée est de fournir une expression de la valeur de la solution optimale sous la forme d'une fonction de récurrence basée sur les valeurs des solutions optimales des sous-problèmes. Dans le cas du sac à dos, en ne considérant que les i premiers objets, le problème peut être résolu de manière optimale grâce à la solution optimale obtenue avec les $i - 1$ premiers objets. En effet, en notant $H(i)$ la valeur du sac obtenue et en ne considérant que les i premiers objets, les deux solutions pour $H(i)$ sont $H(i) = H(i - 1) + p_i$ si l'objet i est mis dans le sac, $H(i) = H(i - 1)$ sinon. Cela, en supposant connaître la résolution du sous-problème correspondant à $H(i - 1)$. Au final, pour n objets, en partant de $H(0) = 0$, la solution optimale de ce problème du sac à dos correspondrait à $H(n)$. Dans le processus de calcul de la solution optimale, il faut bien évidemment tenir compte de la capacité maximale du sac, à ne pas dépasser.

FIGURE 2.2: $x_i = 1$ si l'objet est pris et 0 sinon**Algorithm 1** Sac à dos

$H(0) = (0, 0)$
for all $i = 1, \dots, n$ **do**
 Initialiser $H(i) = \{\}$.
 if $v + v_i = Vmax$ **then**
 Créer pour chaque (u, v) de $H(i - 1)$ deux états $(u + w_i, v + v_i)$ et (u, v) et les insérer dans H_i .
 Pour chaque valeur v , garder au maximum un état (u, v) dans $H(i)$ avec u maximal.
 end if
 Retourner $max(u, v)$ dans $H_n(u)$
end for

Exemple 2 Ce qui suit est une instance du problème de la section (2.3.1) avec le poids maximal $v=10$ et les valeurs suivantes :

Objet	1	2	3
Poids	7	6	4
Valeur	11	8	5

Après calcul on obtient

	Poids	Valeur	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7	11	0	0	0	0	0	0	0	11	11	11	11
2	6	8	0	0	0	0	0	0	8	11	11	11	11
3	4	5	0	0	0	0	5	5	8	11	11	11	13

et l'état $(13, 10)$ qui confirme l'utilité maximale égale à 13.

2.4.1.2 Résolution du problème d'affectation

Le problème introduit dans la section 2.3.2, peut être résolu par l'algorithme Hongrois (?, ?).

Les étapes de cette méthode sont résumés comme suit :

Algorithm 2 Méthode Hongroise

Étape 1 Soustraire le plus petit élément de chaque ligne et de chaque colonne.

Étape 2 : recherche d'une solution de coût nul :

1. prendre la ligne contenant le moins de zéros
2. encadrer le premier zéro. Barrer les zéros de la ligne et de la colonne du zéro encadré
3. retour à 1 jusqu'à impossibilité d'encadrer un zéro.

Étape 3 : recherche d'une solution optimale :

- a. marquer d'une croix les lignes ne contenant aucun 0 encadré (s'il n'y en a pas : FIN)
- b. marquer d'une croix toute colonne qui a un 0 barré sur une ligne marquée
- c. marquer d'une croix toute ligne qui a un 0 encadré dans une colonne marquée
- d. répéter b et c jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de ligne ou de colonne à marquer (si toutes les colonnes sont marquées : FIN).

Étape 4 : Traçer un trait sur chaque ligne non marquée et chaque colonne marquée.

- a. choisir le plus petit élément du tableau non barré.
 - b. l'ajouter aux lignes barrées et le soustraire aux colonnes non barrés.
- retour à l'Étape 2.

Étape 5 : Obtention de la solution optimale (s'il existe une colonne marquée ne contenant pas de zéro encadré). Remplacer alternativement les 0 barrés (resp. encadrés) ayant servi au marquage de cette colonne par des 0 encadrés (resp. barrés).

Exemple 3 *Considérons 3 tâches et 3 personnes, et une matrice carrée d'ordre 3 contenant le temps nécessaire à chaque personne pour réaliser chaque tâche. On souhaite affecter chaque tâche à une personne afin de minimiser le temps total de réalisation.*

$$\begin{pmatrix} & M1 & M2 & M3 \\ P1 & 60 & 30 & 70 \\ P2 & 120 & 50 & 100 \\ P3 & 50 & 110 & 80 \end{pmatrix}$$

L'application de l'algorithme 2, donne :

$$\begin{array}{ccc|ccc} & M1 & M2 & M3 & & M1 & M2 & M3 \\ x P1 & 30 & \boxed{0} & 40 & \rightarrow & P1 & 50 & \boxed{0} & 30 \\ P2 & 70 & \emptyset & 20 & & P2 & 50 & \emptyset & \boxed{0} \\ x P3 & \boxed{0} & 60 & \emptyset & & P3 & \boxed{0} & 60 & \emptyset \end{array}$$

Par conséquent, l'affectation optimale est : $\{(P1, M2), (P2, M3), (P3, M1)\}$.

2.4.1.3 Résolution du problème du Bin Packing

L'ordre selon lequel on traite les objets est crucial pour la qualité de la solution. Nous adopterons dans ce qui suit la stratégie « First Fit Decreasing ». Dans cette stratégie, une seule boîte est

considéré initialement. Les objets sont rangés successivement dans la boîte courante tant qu'il y a de la place pour l'objet i en cours, sinon cette boîte est fermée et une nouvelle boîte est ouverte sans fermer la première. Dans une étape intermédiaire où on dispose de k boîtes ouvertes numérotés de 1 à k selon l'ordre de leur première utilisation, l'objet en cours i est rangé dans la boîte de plus faible numéro qui peut le contenir. Dans le cas où aucune boîte ne peut contenir i , une nouvelle boîte $k + 1$ est alors créée sans fermer les autres.

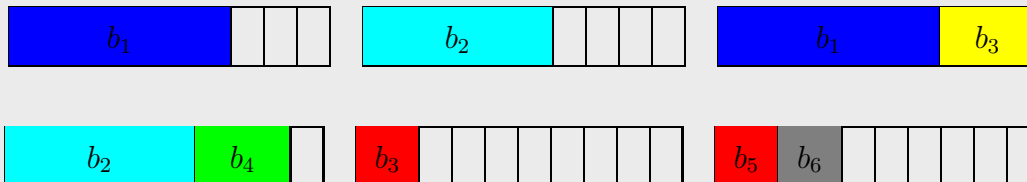
Algorithm 3 Bin Packing

1. Trier $B = \{b_1, \dots, b_n\}$ dans l'ordre décroissant en fonction de w
 2. $k := 1, S_1 := \emptyset$
- for all** $i=1$ to n **do**
- if** b_i peut être mis dans S_j avec $j \leq k$ **then**
- Insérer b_i dans S_j
- else**
- $k=k+1$
- créer un nouveau sac $S_k = \emptyset$
- Insérer b_i dans S_k
- end if**
- end for**
-

Exemple 4 *Considérons les objets suivants munis de leurs poids. Quel est le nombre minimal de sacs qui peuvent les contenir ?*

b_i	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
w_i	7	6	3	3	2	2

En appliquant l'algorithme **Algorithm 4**, on obtient :



Ainsi, le nombre minimal de sacs est $k = 3$.

2.4.2 Heuristiques

Une heuristique est une méthode approchée qui a pour but de trouver une solution réalisable de la fonction objectif en un temps raisonnable, mais sans garantie d'optimalité. L'avantage principal de ces méthodes est qu'elles peuvent s'appliquer à n'importe quelle classe de problèmes. Le terme heuristique vient du verbe grec *heuriskein* signifiant trouver un algorithme approché qui permet d'identifier en temps raisonnable au moins une solution réalisable (pas nécessairement optimale). L'utilisation d'une heuristique est efficace pour calculer une solution approchée d'un problème et ainsi accélérer le processus de résolution. Plusieurs définitions des heuristiques ont été proposées par plusieurs chercheurs dans la littérature, parmi lesquelles :

Définition 3 (?, ?) *Une méthode heuristique (ou simplement une heuristique) est une méthode qui aide à découvrir la solution d'un problème en faisant des conjectures plausibles mais faillible de ce qui est la meilleure chose à faire.*

Définition 4 (?, ?) *Les heuristiques sont des règles empiriques et des morceaux de connaissances, utiles (mais non garanties) pour effectuer des sélections différentes et des évaluations.*

En plus des méthodes heuristiques, il existe d'autres méthodes approximatives telles que les méthodes constructives qui sont des méthodes itératives qui construisent pas à pas une solution. Partant d'une solution partielle initialement vide, ils cherchent à étendre à chaque étape la solution partielle de l'étape précédente, et ce processus se répète jusqu'à ce que l'on obtienne une solution complète. Les méthodes constructives sont par exemple utilisées pour générer une solution initiale dans une métaheuristique, qui sont des méthodes inspirées de la nature, ce sont en fait des heuristiques modernes dédiées à la résolution des problèmes d'optimisation, qui visent à atteindre un optimum global généralement enfoui au milieu de nombreux optima locaux. Un schéma récapitulatif mais non exhaustif des méthodes de résolution des problèmes d'optimisation combinatoire peut être le suivant :

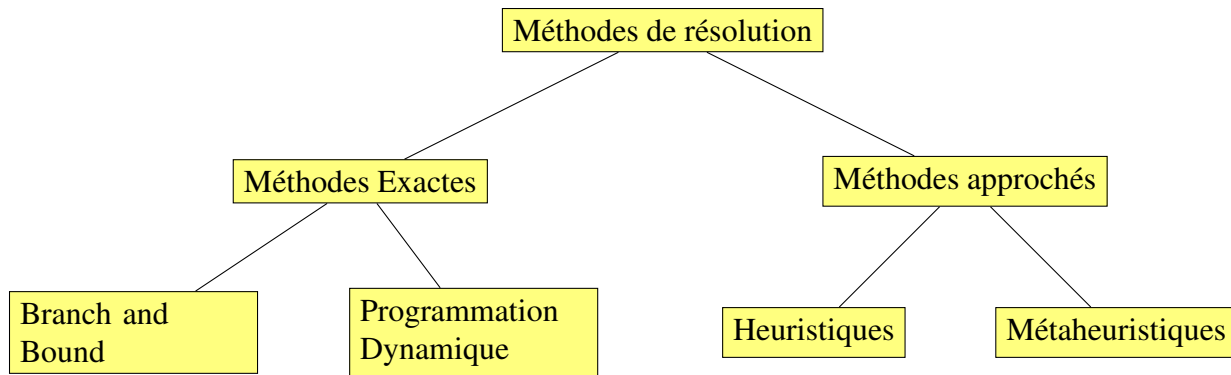


FIGURE 2.3: Possible hiérarchie des méthodes de résolution d'un problème d'optimisation

Parmi les stratégies heuristiques et les méthodes d'approximation les plus utilisées dans la littérature, on trouve les algorithmes gloutons décrits ci-après.

2.4.3 Algorithmes gloutons

Lors de la résolution d'un problème d'optimisation, la construction d'une solution se fait souvent de manière séquentielle, l'algorithme fait à chaque étape un certain nombre de choix. Le principe glouton consiste à faire le choix qui semble le meilleur sur le moment (choix local), et sans jamais remettre en cause un choix déjà fait. Même si la solution gloutonne obtenue rapidement n'est pas optimale, il n'est pas rare que l'on se contente. Pour que la méthode gloutonne ait une chance de fonctionner, il faut que le choix local aboutisse à un problème similaire plus petit.

Remarque 3 *La méthode gloutonne ressemble ainsi à la programmation dynamique. Mais la différence essentielle est que l'on fait d'abord un choix local et on résout ensuite un problème plus petit (progression descendante). En programmation dynamique, au contraire, on commence par résoudre des sous-problèmes, dont on combine ensuite les résultats (progression ascendante). L'avantage des algorithmes gloutons est qu'ils sont tout de même simples à implémenter.*

Le principe des algorithmes gloutons peut être présenté de la manière suivante :

Algorithm 4 Glouton

{Les éléments de E sont numérotés e_1, e_2, \dots, e_n }

1. Poser $\hat{E} = \emptyset$

for all $i=1$ to n **do**

if $\hat{E}_i \cup \{e_i\} \in S$ **then**

$\hat{E} = \hat{E}_i \cup \{e_i\}$

end if

end for

Conclusion

Nous avons présenté au cours de ce chapitre les méthodes de résolution heuristiques, Il est nécessaire de faire appel à des heuristiques permettant de trouver de bonnes solutions approchées. Donc pour résoudre un problème on doit choisir les méthodes adéquates qui peuvent être adapté au type du problème. Après la présentation du problème qu'on va traiter dans le chapitre suivant on va choisir certaines méthodes adéquates vus dans ce chapitre pour la résolution de notre problème.

FORMULATION ET POSITION DU PROBLÈME

Introduction

L'activité du transport aérien est un processus complexe, donc pour assurer la sécurité, la sûreté et la bonne organisation de l'exploitation des aéronefs et des aéroports d'une manière générale. Comme la compagnie aérienne Air Algérie est la seule compagnie auto-assistance au niveau de l'aéroport de Bejaia, également elle est responsable de faire tout le nécessaire pour le traitement des aéronefs, elle fournit aux avions et aux passagers un nombre important de services effectués par les différents groupes de personnel au sol depuis son atterrissage jusqu'au décollage. De ce fait, elle est soumise à de nombreux problèmes de décision et de planification qui doivent continuellement être résolus afin d'offrir un service rapide et fiable dans un environnement concurrentiel.

3.1 Position du problème

Le programme des vols de la compagnie aérienne impose un ensemble de tâches à effectuer au sol : des tâches commerciales comme l'enregistrement des passagers, l'accueil à l'arrivée et au départ, le service de correspondance et de transit et des tâches techniques comme le guidage de l'avion sur la piste d'atterrissage, la mise en place des toboggans, les vérifications techniques, le remplissage du réservoir, C'est le personnel au sol qui effectue ces tâches. L'un des soucis formulé par la compagnie est la création des plannings qui consiste à partager entre les agents toutes les tâches à effectuer, de manière à respecter des contraintes liées à la réglementation du travail, à la prise en compte des compétences du personnel et en même temps à établir un équilibre entre la charge de travail de chaque agent. Créer directement des plannings personnalisés à partir des tâches à effectuer peut devenir un problème assez difficile à résoudre, vu le nombre de tâches à effectuer et la complexité de la réglementation. A notre connaissance, cette planification des tâches au niveau de Bejaia se fait manuellement. En effet, c'est une activité basée principalement sur l'expérience des chefs de file qui ont une bonne connaissance du personnel au sol et des différentes tâches à effectuer pour chaque vol. Mais, cette gestion de manière intuitive entraîne souvent des pertes de temps et des éventuels retards surtout des instants de décollage des avions. De ce fait, la présente étude a pour but de proposer une affectation optimale des tâches au personnel au sol.

3.2 Analyse de l'existant

La programmation des vols d'Air Algérie impose un ensemble des tâches à effectuer au sol par ce que l'on appelle le personnel au sol, elle suit une politique qui consiste à partager la journée en deux intervalles : Une durée de travail allant de 7 heures à 19 heures et une autre commençant de 19 heures jusqu'à 7 heure du lendemain. De plus, un planning hebdomadaire est valable pendant un trimestre (3 mois); dans la journée un certain nombre de vols doit être réalisé tel que chaque vol est caractérisé par un instant de début de traitement et un instant de fin au niveau du sol, entre c'est deux instants et dans cet intervalle les tâches suivantes devraient être effectuées avant et après l'arrivée d'un vol :

- cinq agents sont chargés des taches suivantes :

- accueil et orientation des passagers.
 - enregistrement des passagers.
 - embarquement.
 - accueil et livraison des bagages à l'arrivée.
 - prise en charge de recueil et rejeter le service bagages (réclamation).
- Trois agents sont affectés pour le catering (préparation des repas servis aux passagers).
- Deux agents de sûreté pour l'accueil et l'orientation des bagages ainsi les superviser.

Le diagramme de la figure (3.1) présente toutes les tâches nécessaires pour faire le traitement depuis l'atterrissage d'un avion jusqu'à son décollage.

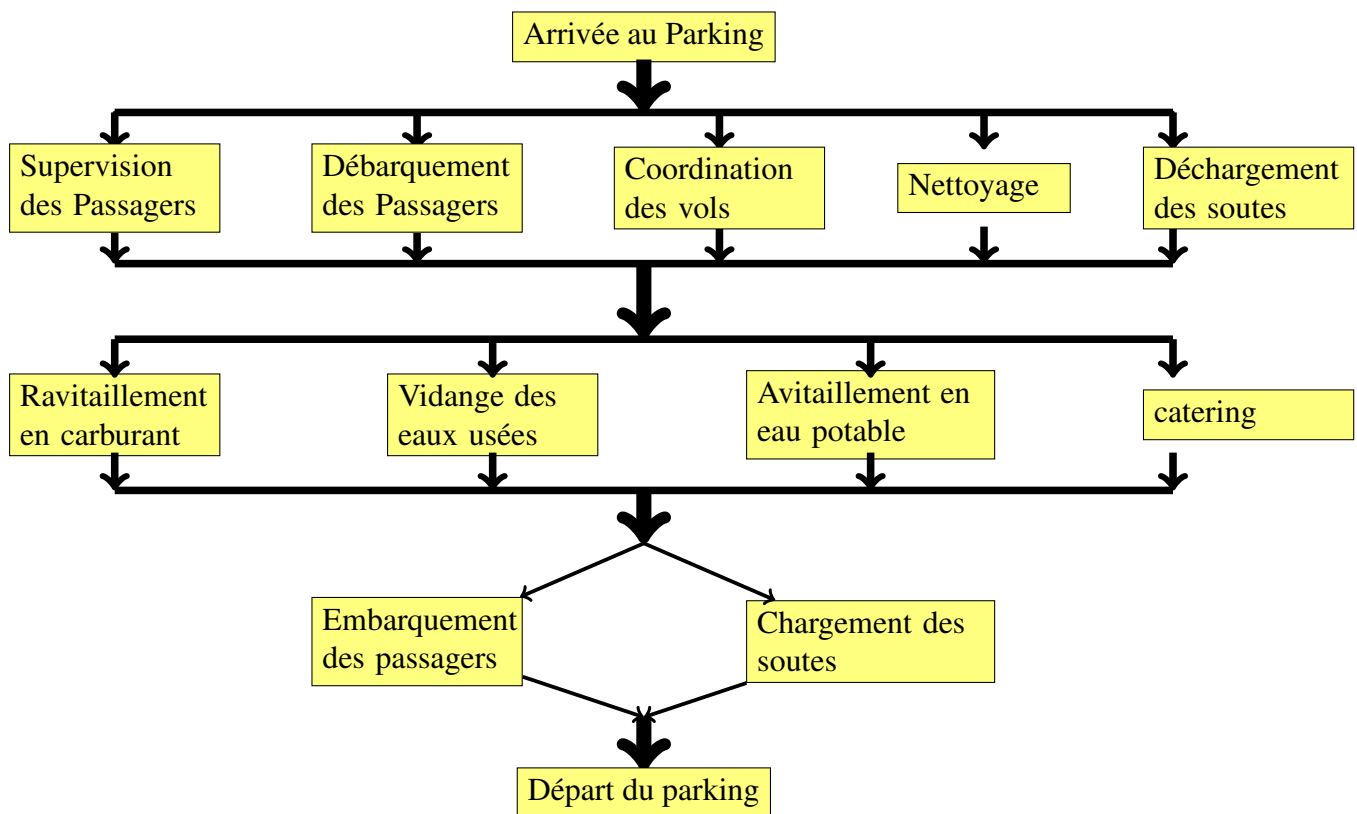


FIGURE 3.1: Ordre des Taches

La table (4.1) résume l'ensemble des tâches, ainsi que les ressources humaines et matérielles nécessaires pour leur achievement.

Les tâches	Ressources humaines	Ressources matériels
Supervision des passagers	Chef de file	
Coordination des vols	Coodonateur	Vehicule de liaison radio VHF
Déchargement des soutes	Manutentionnaire	Chariot-Tapis roulants
Nettoyage	Agent de nettoyage	Aspirateur
Mise en place des matériels	agent de servitude	
Assistance arrivée	mécanicien	
Contrôl, réacheminement des bagages	Agent de tri des bagages	Chariot bagage
Transporter les bagages	Chauffeur tract	Chariot- tracteur
Ravitaillement en eau potable	Manutentionnaire	tracman
Ravitaillement en carburant	Manutentionnaire	Naftal-tracman
Vidange des eaux usées	Manutentionnaire	Tracman
Chargement des soutes	Manutentionnaire	Chariot- Tapis roulant

TABLE 3.1: Besoins en ressources humaines et matériels

3.3 Concepts de base

Avant de décrire le modèle utilisé et la méthode que nous proposons dans le chapitre qui suit, nous allons présenter quelques notions de base nécessaires pour entamer la modélisation du problème posé. Les notions principales utilisées sont les tâches et les vacations, ainsi que leurs caractéristiques avec les différents types rencontrés. Nous exposons aussi les principaux attributs du personnel.

3.3.1 Tâches

Définition 5 *Une tâche est un travail (opération ou ensemble d'opérations) concrètement identifiable, concerné par la réalisation, elle est caractérisée par un numéro identifiant, une date de début, un horaire et une qualification requise au personnel qui va l'effectuer.*

3.3.2 Vacations

Définition 6 *On appelle vacation un ensemble de tâche exécutée consécutivement par les agents dans la même période pendant leurs services journaliers. Chaque vacation est caractérisée par un numéro identifiant, un instant de début, un instant de fin.*

3.3.3 Personnel au sol

La force de travail est représentée par l'ensemble des personnes, appelés aussi agents, susceptibles de couvrir la charge de travail. Elle est constituée de différentes classes de personnel (dans notre étude les agents ont la même classe). Les caractéristiques de base du personnel sont l'effectif, la disponibilité et les qualifications.

3.3.3.1 Effectif

Vu la limitation en nombre des agents, il est possible que la charge de travail ne puisse pas être couverte entièrement. Dans ce cas, des agents en sureffectif (nommés aussi agent temporaires) vont effectuer la charge du travail en excès. Toutefois, il faut mentionner que le nombre des agents en sureffectif ne peut pas dépasser un certain pourcentage d'augmentation de l'effectif.

3.3.3.2 Disponibilité

Pour qu'un agent puisse effectuer une tâche, il doit être disponible pour cette tâche. Il faut voir la disponibilité sous deux angles : d'un côté, la prise en compte des éventuelles activités pré-affectées et des indisponibilités (congé, arrêt maladie,...), et d'un autre côté la prise en compte des desiderata de chaque agent.

3.3.3.3 Qualifications

Un agent peut avoir une seule qualification ou peut être multi-qualifié. Il est possible que les qualifications soient hiérarchisées, ce qui veut dire qu'un agent ayant une qualification supérieure peut effectuer le travail d'un agent avec une qualification inférieure, mais pas l'inverse. En tout cas, il faut respecter certaines limites pour ce genre d'affectation, car du point de vue de l'agent, il n'est pas toujours agréable d'effectuer un travail qui demande une qualification inférieure.

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté notre problème ainsi que tous les concepts de base qu'on aura besoin pour la modélisation de notre problème.

MODÉLISATION, RÉOLUTION ET IMPLÉMENTATION

Introduction

La modélisation est une étape cruciale dans l'élaboration du schéma de résolution d'un problème appartenant aux domaines d'application de la Recherche Opérationnelle. Selon son objectif et les moyens utilisés, elle est dite mathématique, géométrique, informatique, . . . Un modèle se rapporte toujours à ce qu'on espère en déduire. En d'autres termes, une traduction de la réalité pour pouvoir lui appliquer les outils, les techniques et les théories mathématiques, puis généralement, en sens inverse, la traduction des résultats obtenus en prédictions ou opérations dans le monde réel.

4.1 Modélisation du problème

Une fois arrêté à son poste de stationnement, un avion fait l'objet d'un ensemble d'opérations d'assistance d'autant plus étroitement coordonnées qu'il effectue une escale courte (une heure) : chargement et déchargement, nettoyage, vidange et désinfection des toilettes, chargement des repas, rechargement en eau potable, avitaillement en carburant, vérifications techniques, etc. L'équipage au départ reçoit, par ailleurs, toutes les informations indispensables au bon déroulement du vol : devis de masse comprenant le plan de chargement et de centrage de l'appareil, le dossier météorologique, . . . Ces opérations peuvent être effectuées par la compagnie exploitant l'avion, ou sous-traitées à une autre compagnie aérienne ou à une société d'assistance en escale.

Notre objectif est d'implémenter une heuristique portant sur la planification optimale des ressources indispensables aux services d'assistance demandés pour chaque vol d'une période à l'escale de Bejaia (au niveau d'Aéroport de Bejaia). Par considération d'une période donnée, pour son exécution, il est demandé de déterminer les tâches nécessaires aux différents vols et d'affecter à chaque tâche sa demande en personnels et matériels tout en minimisant les effectifs.

4.1.1 Génération de vacations

Dans ce paragraphe, nous allons présenter la méthode proposée pour la construction de vacations dans le cas où le profil des vacations est donné par les différents types de contrats du personnel. Les tâches sont fixes et sont traitées séparément. Ainsi, notre méthode s'appuie principalement sur la génération de vacations à partir de l'ensemble des tâches fixes.

Condition de compatibilité tâche - vacation seules des tâches qui se traitent dans la même période peuvent faire partie de la même vacation.

Condition d'inclusion la condition d'inclusion peut être formulée de la manière suivante : une tâche peut faire partie d'une vacation si elle commence après ou en même temps que la vacation et finit avant ou en même temps que la vacation donc la durée des tâches qui appartiennent à une même vacation ne doit pas dépasser la durée maximale de cette dernière.

La création de vacations peut être modélisée comme un problème de bin-packing (?), où les vacations représentent des conteneurs à remplir et les tâches représentent les objets à mettre

dans les conteneurs. Lors de notre étude et pour une période donnée, nous considérons une tâche existante dans tous les vols nécessitant pour son exécution le même type de ressource (personnel ou matériel) pour laquelle nous affectons le personnel qualifié (en optimisant en nombre et en qualité adéquate à sa réalisation). En effet, nous avons divisé notre problème en deux sous-problèmes :

- Le problème A : consiste à la création des vacances de travail.
- Le problème B : consiste à affecter le personnel aux vacances déjà créées.

Notations

1. $K = \{k_1 \dots\}$: l'ensemble de vacances.
2. $T = \{t_1 \dots t_{11}\}$: l'ensemble de tâches.
3. $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{11}\}$: l'ensemble du personnel au sol (agents).
4. d_i : l'instant du début de traitement de la tâche t_i .
5. f_i : l'instant de la fin de traitement de la tâche t_i .
6. a_j : l'instant de début de la vacation k_j .
7. b_j : l'instant de la fin de la vacation k_j .
8. $dr_{k_j} = b_j - a_j$: la durée de la vacation k_j .

Remarque 4 *La condition d'inclusion stipule que toute tâche t_i , $i = 1, \dots, 11$ faisant partie d'une vacation k_j , $j = 1, \dots, n$ doit être entièrement comprise dans cette dernière. Formellement, on aura $d_i \geq a_j$ et $f_i \leq b_j$.*

D'une part, on peut constater d'après les caractéristiques des tâches et des vacances que les deux sont liées au temps : heure de début, heure de fin, durée. De plus, les contraintes à respecter lors de la création de vacances sont, pour la plupart, des contraintes temporelles. C'est pourquoi un problème méthodologique clé qui se pose est le choix de la représentation du temps. D'autre part, c'est pour cette raison que notre démarche pour résoudre ce problème consiste d'abord à la création de vacances puis à l'affectation de ces vacances au personnels existants.

Ainsi, après exécution de l'algorithme 5, nous avons obtenu le nombre minimal de vacances représentées par la Table 4.1.

Algorithm 5 Création des vacances**Etape 1 :** Introduire l'ensemble des tâches $j=1$; $ind=\{1\}$; $l=1$; $k_l = \{t_1\}$ **Etape 2 :** Tant qu'il ya des tâches non affectéeschoisir une tâche $t_j, j \notin ind$;**Etape 3 :****if** t_j est compatible avec les tâches $t_i, i \in ind$ **then** $k_l \leftarrow k_l \cup \{t_j\}$; $ind \leftarrow ind \cup \{j\}$;**else** $l \leftarrow l + 1$;créer une vacation k_l ;

Aller à l'étape 3 ;

end if

Vacation 1	Vacation 2	Vacation 3
Supervision des passagers Coordination des vols Nettoyage Déchargement des soutes	Ravitaillement en carburant Vidange des eaux usées Ravitaillement en eau potable Catering	Embarquement des passagers Chargement des soutes

TABLE 4.1: Table des vacances

4.1.2 Variables de décision

Nous avons vu que les caractéristiques des tâches et des vacances sont liées au temps : heure de début, heure de fin, durée. De plus, les contraintes à respecter lors de la création de vacances sont, pour la plupart, des contraintes temporelles. C'est pourquoi un problème méthodologique clé qui se pose est le choix de la représentation du temps. A l'aide des plages horaires, nous pouvons modéliser les tâches, les vacances et les contraintes de la manière naturelle suivante :

$$t_{ijk}^v = \begin{cases} 1, & \text{si la tâche } j \text{ est affectée à l'agent } i \text{ durant la vacation } k \text{ du vol } v ; \\ 0, & \text{sinon.} \end{cases}$$

Dans ce cas, les plans peuvent être visualisés sous forme de tableaux où chaque élément contient un vecteur-colonne. Pour chacun des vecteurs-colonnes du tableau, est attribuée la valeur 1 si la tâche j est affectée à l'agent i durant la vacation k du vol v , et 0 sinon.

	Vacation 1					Vacation 2					Vacation 3							
	t_1	t_2	...	t_j	...	t_n	t_1	t_2	...	t_j	...	t_n	t_1	t_2	...	t_j	...	t_n
a_1																		
a_2																		
\vdots																		
a_i				$t_{ijk_1}^v$						$t_{ijk_2}^v$						$t_{ijk_3}^v$		
\vdots																		
a_m																		

L'ensemble des tâches correspondant à la vacation k du vol v que l'agent i doit effectuer sera notée

$$T_{ik}^v = \sum_{j=1}^{11} t_{ijk}^v, \quad i = 1, \dots, 11; \quad k = 1, \dots, 3; \quad v = 1, 2. \quad (4.1)$$

Par conséquent, l'ensemble de toutes les tâches affectées à l'agent p_i durant toutes les vacances sera notée

$$T_i = \sum_{j=1}^{11} \sum_{k=1}^3 \sum_{v=1}^2 t_{ijk}^v, \quad i = 1, \dots, 11. \quad (4.2)$$

4.1.3 Contraintes

$$\sum_{k=1}^3 t_{ijk}^v = 1, \quad i = 1, \dots, 11 \quad k = 1, \dots, 3 \quad v = 1, 2; \quad (4.3)$$

$$0 \leq \sum_{j=1}^{11} t_{ijk}^v \leq 5, \quad i = 1, \dots, 11 \quad k = 1, \dots, 3; \quad v = 1, 2; \quad (4.4)$$

$$1 \leq \sum_{i=1}^{11} t_{ijk}^v \leq 6, \quad j = 1, \dots, 11; \quad (4.5)$$

$$\sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^{11} t_{ijk}^v P_{ij} \leq 1, \quad i = 1, \dots, 11 \quad v = 1, 2; \quad (4.6)$$

La contrainte (4.3) garantit qu'une tâche n'est affecté qu'à une seule vacation. La contrainte (4.4) assure le fait que le nombre Minimum (resp Maximum) de tâches que la personne i peut effectuer pour un seul vol égal à 0 (resp 5). La contrainte (4.5) impose le fait que le nombre minimum

(resp maximum) de personnes qui peuvent être affectées à une tâche t_j est 1 (resp 6). La contrainte (4.6) assure que la charge maximale de travail de la personne i sur l'ensemble des vacances est 1*Heure*, où p_{ij} représente le temps d'exécution de la tâche j par la personne i . De plus le fait que la variable $t_{ijk}^v \in \{0, 1\}$.

4.1.4 Fonction Objectif

Le problème de planification de personnel que nous présentons vise à obtenir un planning économiquement efficace mais aussi socialement apprécié. C'est-à-dire un planning où le partage de la charge de travail entre les personnes est équitable. Ce problème peut dans beaucoup de situations apparaître comme une problématique centrale et constituer le but du décideur. Ainsi, pour réduire au maximum la différence de traitement entre les employés, nous proposons de minimiser l'écart entre la plus grande et la plus petite charge des employés.

$$\min_i (\max_j T_i - \min_j T_i), \quad i = 1, \dots, 11 \quad (4.7)$$

En posant $\max T_i = \alpha$ et $\min T_i = \beta$, la relation (4.7) devient :

$$\min_i \alpha - \beta \quad (4.8)$$

$$T_i \geq \alpha \quad (4.9)$$

$$T_i \leq \beta, \quad i = 1, \dots, 11 \quad (4.10)$$

En rajoutant les contraintes (4.3)-(4.6) au problème (4.9), on obtient le programme linéaire suivant :

$$\begin{aligned} & \min_i \alpha - \beta \\ & \sum_{k=1}^3 t_{ijk}^v = 1, \quad i = 1, \dots, 11, \quad k = 1, \dots, 3, \quad v = 1, \dots, 2 \\ & 0 \leq \sum_{j=1}^{11} t_{ijk}^v \leq 5, \quad i = 1, \dots, 11, \quad k = 1, \dots, 3, \quad v = 1, \dots, 2 \\ & 1 \leq \sum_{i=1}^{11} t_{ijk}^v \leq 6, \quad j = 1, \dots, 11, \quad k = 1, \dots, 3, \quad v = 1, \dots, 2 \\ & \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^{11} t_{ijk}^v P_{ij} \leq 1, \quad i = 1, \dots, 11, \quad v = 1, \dots, 2 \\ & T_i \geq \alpha \quad i = 1, \dots, 11 \\ & T_i \leq \beta \quad i = 1, \dots, 11 \\ & t_{ijk}^v \in \{0, 1\} \end{aligned} \quad (4.11)$$

Remarque 5 Une manière d'aborder le problème de partage équitable des ressources consiste à construire des plannings cycliques. Dans ce cas, chaque employé réalise à tour de rôle les différents horaires du cycle, si bien qu'au bout du cycle chaque employé a réalisé la même quantité de travail, aux mêmes horaires, et avec les mêmes séquences d'horaires.

4.2 Heuristique proposée pour la résolution du problème posé

Algorithm 6 Heuristique proposée

```

Step 1 : Introduire la liste  $P$  du personnel au sol
Entrer les instants  $ar_i, i = 1, \dots, 4$  des arrivées des vols
Calculer les instants  $dep_i, i = 1, \dots, 4$  des départs des vols
Établir la liste  $L$  fusionnée des instants  $\{ar, dep\}$  par ordre chronologique
Entrer les instants  $ar_i, i = 1, \dots, 4$  des arrivées des vols
Step 2 : Choisir les deux premiers instants  $I_1$  et  $I_2$  de la liste  $L$ 
while  $L \neq \emptyset$  do
  Calculer  $I_2 - I_1$ 
  if  $I_2 - I_1 \leq 15$  then
    (a) affectation des taches de la vacation 1 du vol 1 et mettre à jour la liste  $P$ .
    (b) affectation des taches de la vacation 2 du vol 1 et mettre à jour la liste  $P$ .
    (c) affectation des taches de la vacation 1 du vol 2 et mettre à jour la liste  $P$ .
    (d) affectation des taches de la vacation 3 du vol 1 et mettre à jour la liste  $P$ .
    (e) affectation des taches de la vacation 2 du vol 2 et mettre à jour la liste  $P$ .
  else
    if  $I_2 - I_1 \leq 30$  then
      (a) affectation des taches des vacations 1 et 2 du vol 1 et mettre à jour la liste  $P$ .
      (b) affectation des taches de la vacation 1 du vol 2 et mettre à jour la liste  $P$ .
      (c) affectation des taches de la vacation 3 du vol 1.
    else
      if  $I_2 - I_1 \leq 60$  then
        (a) affectation des taches des vacations 1, 2 et 3 du vol 1 et mettre à jour la liste  $P$ .
        (b) affectation des taches des vacations 1 du vol 1 et mettre à jour la liste  $P$ .
      end if
    end if
  end if
   $L = L \setminus \{I_1\}$ 
  Aller à l'étape 2.
end while

```

4.3 Implémentation

Dans les problèmes de décisions et d'optimisation, l'implémentation d'une solution fait appel à des logiciels puissants, bien structurés et qui donnent souvent des solutions satisfaisantes et efficaces. Comme suite pour notre mémoire, nous sommes appelées à réaliser une application qui s'adapte à notre méthode de résolution choisie et qui donne en sortie une solution satisfaisante ; pour se faire nous avons choisi de réaliser la programmation sous Matlab.

4.3.0.1 Interface principale

Lors du lancement de notre logiciel, la fenêtre principale apparaît, c'est le menu général de l'application qui présente les différentes fenêtres d'exécution, portant un titre représentatif (gestion optimale du traitement des avions au sol) et qui contient quatre boutons dans lesquelles nous trouvons la gestion.

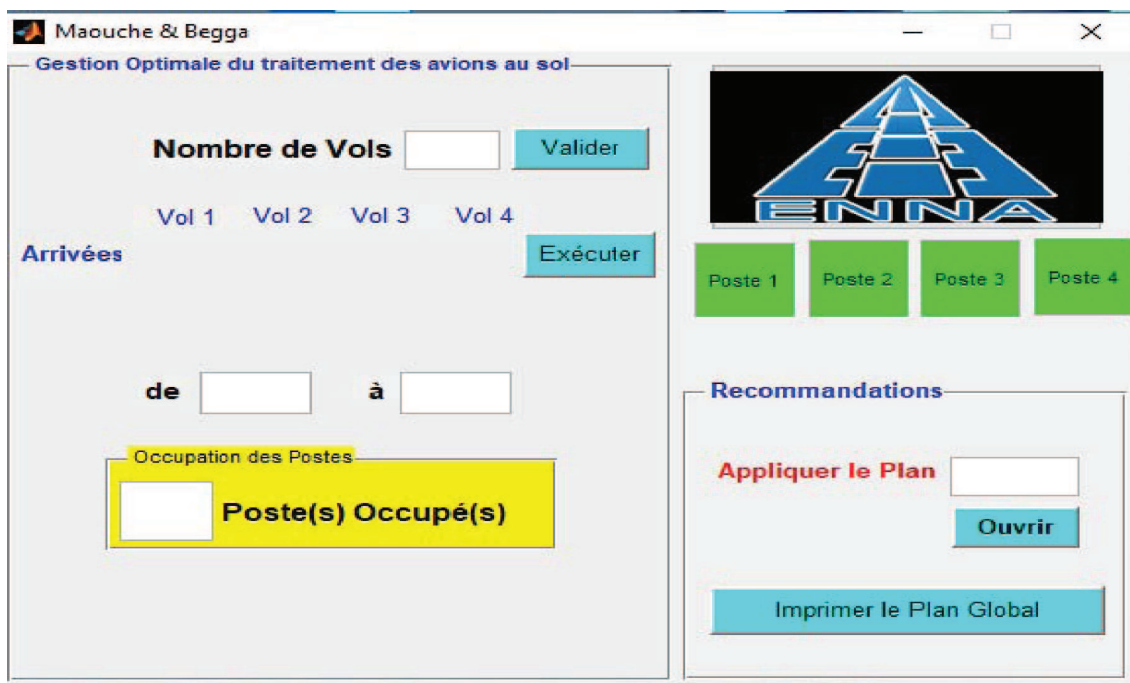


FIGURE 4.1: La fenêtre principale de l'application

4.3.0.2 Bouton valider

Le bouton valider permet de saisir et valider le nombre de vols estimé sur un horizon de temps donné. Le nombre de vols doit être choisi dans l'ensemble $\{1, \dots, 4\}$, et un clic sur le bouton valider fera apparaître un nombre de cases correspondant au nombre de vols saisi, ce qui permettra d'introduire les arrivées des avions.

Maouche & Begga
Gestion Optimale du traitement des avions au sol

Nombre de Vols Valider

Vol 1 Vol 2 Vol 3 Vol 4
Arrivées Exécuter

de à

Occupation des Postes
 Poste(s) Occupé(s)

ENNA

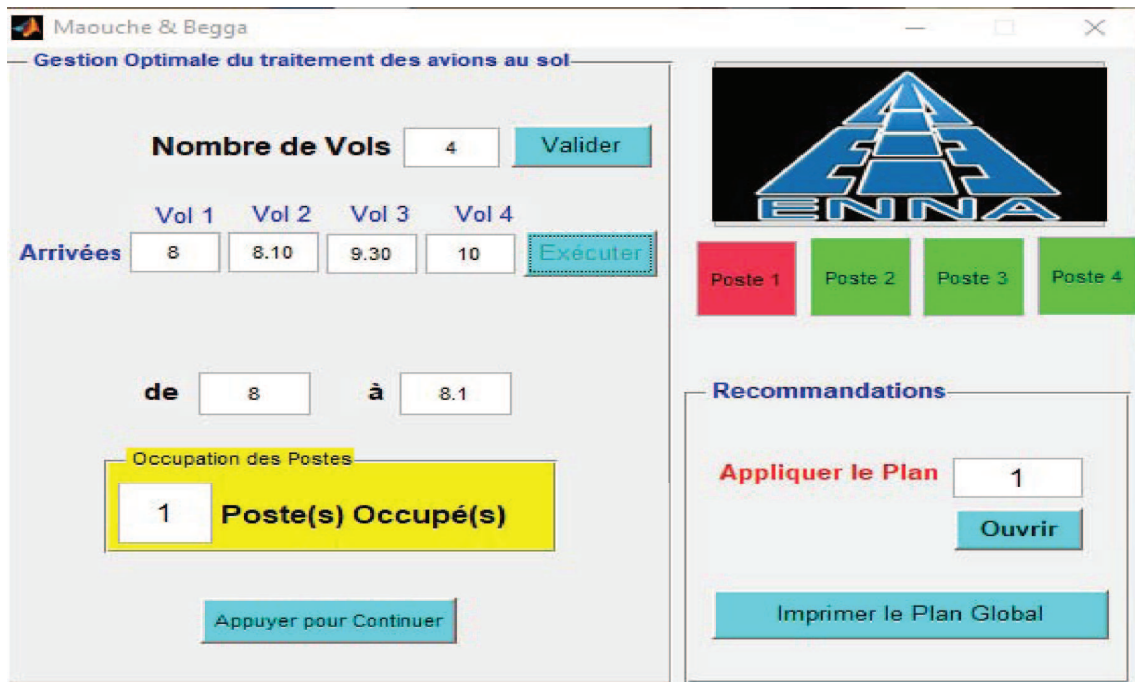
Poste 1 Poste 2 Poste 3 Poste 4

Recommandations
Appliquer le Plan Ouvrir

Imprimer le Plan Global

4.3.0.3 Bouton Exécuter

Une fois le nombre de vol est introduit (on a choisit par exemple 4), un nombre d'onglets égale au nombre de vols introduit apparaît. Les quatre onglets vol1, vol2, vol3, vol 4 : permettent d'entrer les heures d'arrivées des quatre vols entrants. On introduit les instants des arrivées des quatre avions et on clique sur le bouton Exécuter qui permet de lancer la première itération. Poste 1 qui était en vert se transforme en rouge ce que signifie que le premier poste est occupé sur l'intervalle $[8, 8.10]$ qui représentent les deux instants consécutifs correspondant à deux arrivées.



4.3.0.4 Bouton Appuyer pour Continuer

Comme nous pouvons le constater, le bouton Exécuter est désactivé en faisant apparaître un autre bouton (**appuyer pour continuer**) qui permet de continuer l'exécution sur tous les intervalles du temps des arrivées et départs sachant que le départ de chacun des avions est égale à son instant d'arrivée plus une heure d'escale.

4.3.0.5 Bouton Ouvrir

Le bouton ouvrir permet d'imprimer le plan correspondant au nombre de postes occupés (signalés en rouge), affiché sur la rubrique recommandations en bas à droite. L'exemple de la figure suivante recommande d'appliquer le plan 2 qui correspond au planning journalier si deux postes sont occupés simultanément.

4.3.0.6 Bouton Imprimer le Plan Global

Une fois l'exécution terminée, on clique sur imprimer le plan global qui correspond au planning journalier des quatre vols qu'on a inséré au début du lancement de l'application.

Maouche & Begga

Gestion Optimale du traitement des avions au sol

Nombre de Vols Valider

	Vol 1	Vol 2	Vol 3	Vol 4
Arrivées	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="8.10"/>	<input type="text" value="9.30"/>	<input type="text" value="10"/>

de à

Occupation des Postes

Poste(s) Occupé(s)

Appuyer pour Continuer

ENNA

Poste 1 Poste 2 Poste 3 Poste 4

Recommandations

Appliquer le Plan Ouvrir

Imprimer le Plan Global

4.4 Conclusion

Notre travail s'achève par la proposition d'une application permettant d'optimiser la planification des tâches affectées au personnel au sol au sein de la compagnie Aire Algérie. Cette application est le résultat d'un processus méthodique et scientifique dont les principales phases sont la phase de recueil de donnée, marquée par des descentes sur le terrain, qui nous a permis de découvrir l'existant en matière de gestion des plannings au sein de cette compagnie. Il en ressort que le bon sens et l'expérience ne permettait pas véritablement d'atteindre les objectifs. Ce constat qui, sous-entend par ailleurs notre problématique, a renforcé notre motivation pour offrir une solution meilleure au problème de l'affectation des tâches dans ladite compagnie et qui se faisait de façon manuelle. Le but n'est pas alors de supprimer ces méthodes basées sur l'expérience des décideurs mais plutôt de proposer une solution permettant de profiter des avancées technologique.

CONCLUSION GÉNÉRALE

En guise de conclusion, il serait pertinent de nous interroger si nous avons atteint les objectifs fixés au départ ? En effet, nous avons commencé par positionner notre étude dans le contexte des problèmes de planification et d'affectation. Cependant les modèles classiques ne paraissaient remédier à la complexité du problème. Donc, il fallait analyser le système réel afin de bien saisir les particularités, qui le spécifient, et ensuite nourrir nos esprits avec les modèles théoriques adéquats, et ce, dans le but de trouver le bon modèle ou d'en proposer un qui doit exprimer explicitement les spécificités de la réalité qu'on vient d'analyser.

L'utilisation efficace des ressources humaines semble avoir un enjeu très important aux seins d'une entreprise surtout pour une compagnie aérienne telle qu'Air Algérie, ou existe une gestion complexe des activités nécessitant une meilleure organisation du travail. Dans le présent travail nous avons proposé une modélisation mathématique basée sur l'optimisation combinatoire : Nos travaux ont porté sur la construction de plannings pour le personnel travaillant dans un contexte aéronautique : le personnel au sol de la compagnie Air Algérie. la création de plannings est divisée en deux sous-problèmes, le premier sous-problème consiste à grouper les tâches dans ce que l'on appelle des vacations. Le deuxième sous problème consiste à affecter aux agents les vacations créées, de manière à construire des plannings personnalisés. Nous avons opté pour l'utilisation d'une heuristique pour la création des vacations en dans le but de gagner en complexité et en temps de calcul. Le travail développé durant la préparation de ce mémoire, nous a permis de mettre en œuvre les connaissances théoriques acquises le long de notre parcours universitaire. L'implémentation utilisant l'environnement, permet de mettre à la disposition des décideurs de l'entreprise Air Algérie un outil convivial et de répondre à leurs préoccupations. L'application réalisée offre un large champ de manœuvre pour la modification des paramètres du modèle et l'adaptation à d'éventuelles mises à jour des données. Finalement, nous espérons que ce travail soit bénéfique pour la société AIR

ALGERIE, ouvre une porte pour l'exploitation effective et usuelle de la recherche opérationnelle au sein de l'entreprise.

RÉSUMÉ

La planification et la gestion optimale des ressources humaines jouent un rôle important dans la productivité et la compétitivité des entreprises. Dans ce mémoire nous nous intéressons à la modélisation et à la résolution de différents problèmes d'optimisation soulevés par la construction des plannings pour les agents qui travaillent dans un contexte aéronautique : dans notre travail on a intéressé sur la construction des planning pour le personnel travaillant dans un contexte aéronautique (le personnel au sol de la compagnie Air Algérie). La création de plannings est divisée en deux sous-problèmes, le premiers sous-problème consiste à grouper les tâches dans ce que l'on appelle des vacations créés, de manière à construire des planings personnalisés.

Mots clés : Tâche, Vacation, Plannings, Bin packing, Heuristique, Affectation.