

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université M'hamed Bougara Boumerdes
Faculté des Sciences
Département de Mathématiques



Mémoire Présenté Pour L'Obtention Du Diplôme De Master

En Recherche Opérationnelle

*Option : Recherche Opérationnelle et Mathématiques de la
Gestion.(ROMAGe)*

Présenté

Par : Berkouk Bouchra.

Et :Kedira Nedjma.

Thème

**Optimisation des plannings d'affectation des
ressources des opérations au sol des vols au
niveau de l'escale d'Alger**

Soutenu le 25 juin 2016 devant le jury composé de :

M ^{me} A.CHEIKH	M.A. classe/ A	Président	à l'UMBB - Boumerdes.
M ^{me} N.RAGGAS	M.A. classe/ A	Encadreur	à l'UMBB - Boumerdes
M ^r F.CHEURFA	M.A. classe/ A	Examineur	à l'UMBB - Boumerdes.
M ^r M.DAHACHE		Invité	à Air Algérie.

Année Universitaire 2015 – 2016

Table des matières

<i>Introduction générale</i>	<i>2</i>
1 Présentation de la compagnie Air Algérie	3
1.1 Création et historique	3
1.2 Mission et objectif d’Air Algérie	4
1.3 Les moyens de la compagnie	5
1.3.1 La flotte de la compagnie	5
1.3.2 Moyens humains	5
1.4 Organisation	5
1.5 Présentation de la DOA	7
1.6 Aéroport d’Alger	8
1.7 Conclusion	9
2 Problématique	10
Introduction	10
2.1 Introduction	10
2.2 Problématique	10
2.2.1 Description de problème	11
2.2.2 Objectifs	14
2.3 Conclusion	14
3 Aperçue sur la théorie des graphes	15
Introduction	15
3.1 Définition de base	15
3.1.1 Qu’est-ce qu’un graphe?	15
3.2 Mode de représentation graphique	18
3.2.1 Matrice d’adjacence	18
3.2.2 Matrice d’incidence	18
3.2.3 Liste d’adjacence	19
3.3 Généralités sur les graphes triangulés	20
3.4 Les graphes d’intervalles	22
3.5 Coloration des graphes	23
3.6 Coloration pondéré	23
3.7 Conclusion	24

4	Modélisation	25
	Introduction	25
4.1	Modélisation du problème	25
	4.1.1 Le problème A	26
	4.1.2 Le problème B	31
4.2	Conclusion	31
5	Méthode de résolution	32
	Introduction	32
5.1	Introduction	32
5.2	Méthode de résolution du problème posé	32
	5.2.1 Le problème A	33
	5.2.2 Le problème B	37
5.3	Conclusion	38
6	Implémentation	39
6.1	Introduction	39
6.2	Qu'est-ce que Le Delphi ?	39
6.3	Présentation de l'application	40
	Conclusion générale	51

Table des figures

1.1	Organigramme de la compagnie Air Algérie	6
1.2	Organigramme de DOA	8
2.1	Ordonnancement des tâches	12
3.1	Matrice d'adjacence	18
3.2	Matrice d'incidence d'un graphe orienté	19
3.3	Matrice d'incidence d'un graphe non orienté	19
3.4	Liste d'adjacence	20
3.5	Graphe d'intervalles	22
4.1	Vacation	27
4.2	Répartition des intervalles sur l'axe de temps	29
4.3	Graphe d'intervalles associé	30
6.1	Fiche mot de passe	40
6.2	Fiche mot de passe incorrect	41
6.3	Menu principale	42
6.4	Planning de vol	43
6.5	Exécution	43
6.6	Répartition des ressources humains	44
6.7	Choix de tache	45
6.8	La partie de choix vols	46
6.9	Fonctionnalité de bouton coché	47
6.10	Choix par intervalle de temps	48
6.11	Choix manuellement	49
6.12	Exemple appliqué	50
6.13	Classification des méthodes de résolution des Problèmes d'OC	54

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 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, Air Algérie nous a proposé de nous pencher sur le problème de la gestion des opérations au sol des vols au niveau d'escale d'Alger. Les opérations d'escale au niveau d'aéroport sont réalisées par différents prestataires de services pour les autres compagnies, c'est différemment pour la compagnie Air Algérie qui assiste ces avions 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).

Notre travail consiste à optimiser les plannings d'affectation du personnel et du matériel aux opérations en tenant compte de plusieurs contraintes. Le manuscrit est articulé autour de chapitres :

- Le premier chapitre abordera la présentation de l'entreprise AIR ALGERIE ainsi que la Direction des Opérations Aériennes (DOA)
- Dans le deuxième chapitre, nous présenterons la problématique posée.
- Dans le troisième chapitre, nous exposerons les différents concepts de base liés à la théorie des graphes.
- Le quatrième chapitre sera consacré à la modélisation du problème.
- La méthode de résolution adoptée sera exposée dans le cinquième chapitre avec une explication détaillée sur ses différentes étapes.
- Enfin, le sixième chapitre concernera la présentation du logiciel développé dans le cadre de cette étude. Et nous achevons notre travail par une conclusion générale.

1

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. Air Algérie opère depuis l'Aéroport Houari Boumediene d'Alger des vols vers 28 pays en Europe, en Afrique, en Asie, en Amérique du Nord et au Moyen-Orient. Elle dessert également 32 destinations sur le territoire algérien. Elle est membre de l'association internationale du transport aérien, de l'Arab Air Carriers Organization et de l'Association des Compagnies Aériennes Africaines. Air Algérie est une société par actions au capital de 43 milliards de dinars algériens (environ 403,4 millions d'euros) détenue à 100 % par l'état algérien.[3]

1.1 Création et historique

Depuis sa création, Air Algérie est passée par de nombreuses étapes de réorganisation et de restructuration. Voici les dates les plus importantes qui ont marqué l'histoire d'Air Algérie [13] :

- 18 Février 1963 : La CGTA se transforme en une compagnie nationale sous tutelle du Ministère des Transports avec 51% du capital.
- 1970 : L'Etat porte sa participation au capital d'AIR ALGERIE à 83 %.
- 1973 : L'Etat décide d'intégrer AIR ALGERIE à la Société de Travail Aérien (STA) qui devient alors la Société Nationale de Transport et de Travail Aérien.
- 15 décembre 1974 : L'Algérie possède 100 % du capital de la société.
- 1983 : Restructuration avec l'apparition de deux entités distinctes :
 - AIR ALGERIE pour le transport aérien international.
 - Inter AIR SERVICE pour les lignes intérieures.
- 1984 : Les deux sociétés citées ci-dessus fusionnent à nouveau en une seule entreprise à laquelle revient également la charge de la gestion des aéroports.

- 1987 : L’activité ” Gestion des aérobares ” est retirée à la compagnie.
- 17 Février 1997 : La compagnie adopte la dénomination de ” SOCIETE NATIONALE DE TRANSPORT ET DE TRAVAIL AERIEN AIR ALGERIE ” avec le statut d’Entreprise Publique Economique / Société Par Action.
- 2007 : Ouverture de la première ligne long courrier : Alger-Montréal-Alger.
- 2009 : Ouverture de la ligne Alger-Pékin-Alger.
- 2010 : l’Organisation européenne de l’aviation civile menace Air Algérie de l’inscrire sur la liste noire si elle ne se conforme pas aux règles de sécurité européenne.
- 2011 : Air Algérie est concernée par la taxe carbone imposée par l’Union européenne (UE) applicable à partir de janvier 2012.
- 2014 : Air Algérie s’équipe de nouveaux appareils, de deux Boeing 737-700 C et de huit Boeing 737-800, la volonté d’Air Algérie de faire de l’Aéroport d’Alger - Houari Boumediene un hub (aéroport de pivot) avec comme objectif d’atteindre les 10 millions de voyageurs par an.
- 2015 : le 2 avril 2015, Air Algérie réceptionne l’un des trois Airbus A330-200 commandés en 2014 dans le cadre de son plan de développement 2013-2017.
- 2015 : le 24 mai 2015, Mohamed Bouderbala est nommé Président Directeur Général d’Air Algérie par le chef d’état Algérien.
- 2015 : le 30 mai 2015, Air Algérie réceptionne le deuxième Airbus A330-200 commandé en 2014.
- 2015 : Le 1er juillet 2015, Air Algérie réceptionne son troisième Airbus A330-200.[3]

1.2 Mission et objectif d’Air Algérie

La mission principale de l’entreprise de transport et de travail aérien est le transport des passagers, bagages, fret et courriers dans les conditions optimales de confort, de sécurité et de régularité. Ses principales missions sont :[13]

- L’exploitation des lignes aériennes internationales dans le cadre des conventions et accords internationaux.
- L’exploitation des lignes aériennes intérieures, et internationales, en vue de garantir le transport public régulier et non régulier des personnes, des bagages, de fret et de courriers.
- La vente et l’émission de titres de transport pour son compte ou pour le compte d’autres entreprises de transport.
- L’achat et la location d’aéronefs.
- Le transit, les commissions, les consignations, la présentation, l’assistance commerciale, et toutes prestations en rapport avec son sujet.
- L’avitaillement des avions dans des condition fixées par le ministère du transport, l’entretien, la réparation, la révision et toute autre opération de maintenance des aéronefs et équipements pour son compte et le compte des tiers.
- La gestion et le développement des installations destinées aux publics, et aux opérations de fret.

Les objectifs de la compagnie sont connus selon les principaux points suivants :

- Favoriser la mobilité sociale à travers le territoire national en mettant l’avion à la portée de tout le monde.

- Satisfaire de manière ponctuelle et régulière la demande de la clientèle.
- 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.

1.3 Les moyens de la compagnie

1.3.1 La flotte de la compagnie

La flotte (d'un âge moyen de 10.3 ans) de la compagnie aérienne nationale Air Algérie se compose comme suite :[18]

- 5 avions passagers Airbus A330-200 (3 en commande) avec 15 sièges en 1ère classe, 30 sièges en classe Affaires et 192 sièges en classe Economique.
- 12 avions passagers ATR 72-600 (3 en commande) avec 70 sièges en classe Economique.
- 5 avions passagers Boeing 737-600 avec 16 sièges en classe Affaire et 85 sièges en classe Economique.
- 18 avions passagers Boeing 737-800 (8 en commande) avec 24 sièges en classe Business et 141 sièges en classe Economique.
- 3 avions passagers Boeing 767-300 (3 en commande) avec 24 sièges en classe Affaire et 229 sièges en classe.
- 1 avion-cargo Lockheed L-100-30T (2 en commande).

1.3.2 Moyens humains

[16]Air Algérie a su investir dans la formation du personnel, si bien qu'elle dispose aujourd'hui d'un personnel de nationalité algérienne. Les catégories de son personnel se répartissent comme suit[18] :

- 8140 personnels au sol.
- 685 personnels navigants commerciaux (PNC) dont 256 hôtesses, 431 stewards.
- 412 personnels navigants techniques (PNT) dont 200 commandants de bord, 256 pilotes.

1.4 Organisation

Pour mener à bien sa mission, et pour fournir une dynamique adaptée à ses préoccupations et à ses activités de transport aérien, l'entreprise Air Algérie est structurée selon l'organigramme général ci-après :

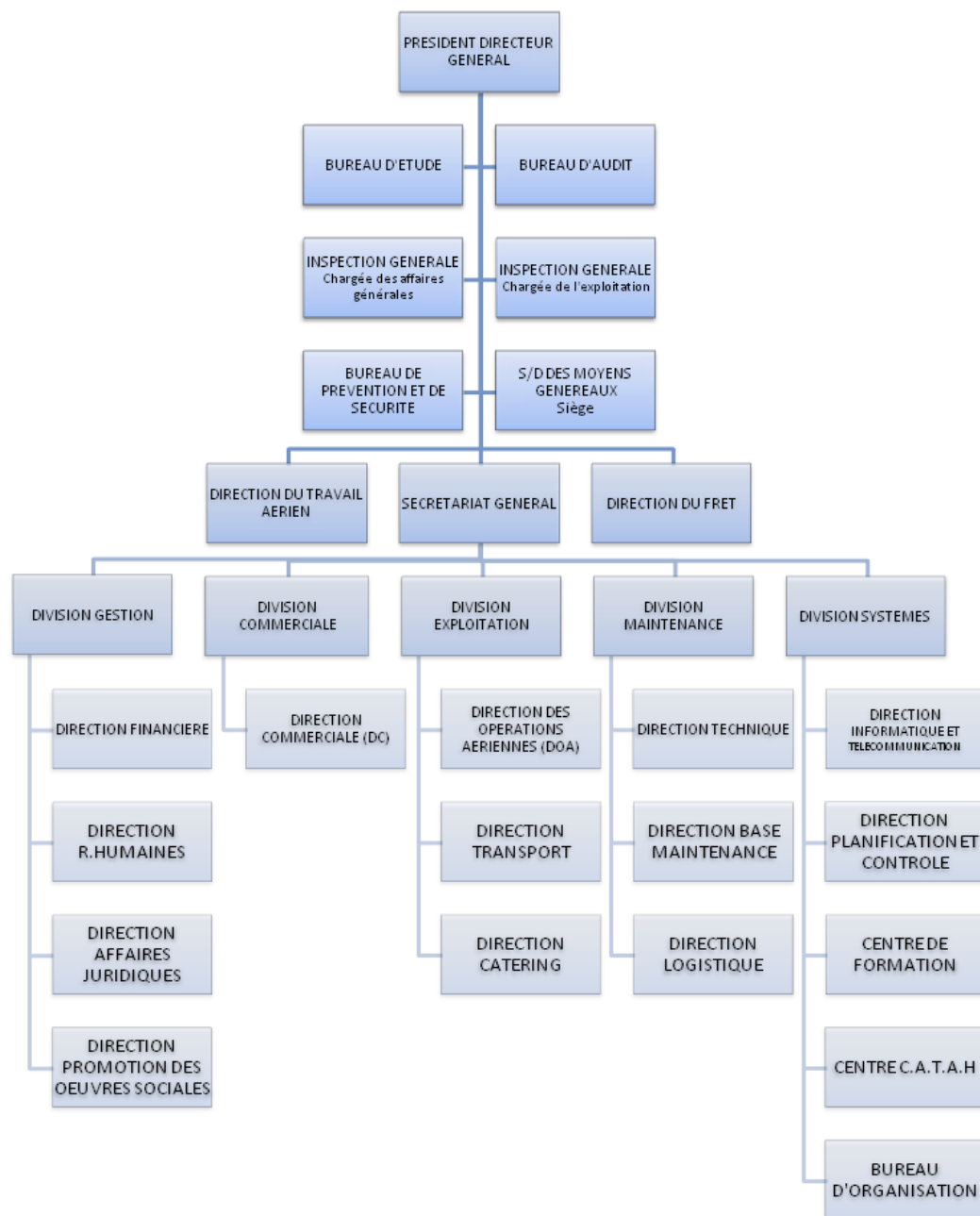


FIGURE 1.1 – Organigramme de la compagnie Air Algérie

1.5 Présentation de la DOA

La Direction des Opérations Aériennes (DOA) est considérée comme le moteur de la compagnie Air Algérie car elle se charge de la réalisation du programme d'exploitation dans les limites réglementaires d'utilisation du personnel navigant et des avions, ce qui représente l'équipage et l'équipement de cette compagnie.[18]

Mission Principale :

- Réaliser le programme d'exploitation de la compagnie en matière de conduite des avions. Dans des conditions de sécurité, de régularité d'économie et de qualité de service.
- Mettre en œuvre, coordonner et contrôler la bonne exécution de l'ensemble des activités qui ont pour but la préparation, l'exécution et le contrôle d'exploitation.

Attributions :

- Veiller au maintien des conditions d'exploitation des vols conformément à la réglementation de l'aviation civile en vigueur tant dans l'état de l'immatriculation que sur le territoire et au-dessus du territoire des autres états.
- Développer l'activité opération aérienne, les procédures et techniques de vols qui ont pour objectif principal la sécurité, l'économie, l'efficacité et l'utilisation rationnelle des équipages et des avions.
- Veiller à la programmation des moyens appropriés devant assurer un contrôle continu et un bon déroulement de l'activité d'exploitation de l'entreprise.
- Elaborer les programmes mensuels, individuels et collectifs, ainsi que les procédures correspondantes visant l'utilisation économique du personnel navigant et du matériel volant.
- Traiter toutes les questions liées aux performances et utilisation avions.
- Veiller à la gestion et le suivi de carrières du Personnel Navigant.
- Développer et appliquer la politique d'enlèvements carburant visant la réduction des dépenses carburant.
- Elaborer et suivre les plans d'effectifs, de formation et de perfectionnement ainsi que le tableau de bord de la direction et les procédures correspondantes visant l'utilisation économique du Personnel Navigant et du matériel volant.
- Traiter toutes les questions liées aux performances et utilisation avions.
- Veiller à la gestion et le suivi de carrières du Personnel Navigant.
- Développer et appliquer la politique d'enlèvements carburant visant la réduction des dépenses carburant.
- Assurer la liaison et la coordination avec les autres services de la compagnie. des moyens nécessaires au fonctionnement de la Direction des Opérations Aériennes et le contrôle de leur utilisation.

Et voici l'organigramme de DOA :



FIGURE 1.2 – Organigramme de DOA

1.6 Aéroport d'Alger

Aéroport international d'Alger '**Houari Boumediene**' est un aéroport civil international desservant la capitale algérienne. Il s'agit du plus important de tous les aéroports algériens. Sa capacité actuelle est d'environ 12 millions de passagers par an pour un flux réel de plus ou moins 5,2 Millions en 2014. Aéroport d'Alger a été classé meilleur aéroport africain en 2015. Il est géré depuis novembre 2006 par la société de gestion des services et infrastructures aéroportuaires (SGSIA), filiale de l'EGSA Alger, en partenariat avec Aéroports de Paris (ADP).

Principaux opérateurs

La compagnie aérienne nationale Air Algérie est la principale opératrice à l'aéroport international d'Alger, elle l'utilise comme Plate-forme de correspondance aéroportuaire et exploite plusieurs lignes vers l'Europe, l'Afrique, Canada, la Chine et le Moyen-Orient. Quant à la Tassili Airlines filiale de la compagnie pétrolière Sonatrach. Elle dessert à partir de cet aéroport le Maroc, l'Espagne, la France, la Turquie et les Emirats Arabes

Unis. Plusieurs compagnies aériennes étrangères assurent des vols vers Alger comme Tunis Air, Royal Air Maroc, Air France, Qatar Airways, Air Italie, Aigle Azur, Lufthansa, Turkish Airlines, British Airways.....etc.

Descriptif technique

- Pistes : L'Aéroport dispose de deux pistes d'une longueur de 3 000 m chacune, la première en béton bitumineux, la deuxième en asphalte.
- Aérogares il y'a trois terminaux accueillent les passagers de l'aéroport :
 - Le terminal 1, inauguré en 2006, dédié aux vols internationaux.
 - Le terminal 2, ancien terminal international, rénové, dédié aux vols nationaux.
 - Le terminal 3, ancien terminal national, dédié aux vols charters utilisé notamment pour les pèlerinages.
 - Le quatrième terminal d'une capacité de 10 millions de passagers annuels est en construction.

1.7 Conclusion

Air Algérie s'est fixée comme première mission, une fois établie, la satisfaction du trafic aérien et déplacement des personnes et d'objets. Avec l'ouverture du marché et les crises que le monde a connu, la société s'est développée et a élargie ses missions à titre société par action avec des activités à court et à long terme. Néanmoins, ce développement lui a coûté des difficultés en gestion et organisation et d'autres nécessitant le recours à certaines méthodes dont le succès est assuré pour surmonter ses difficultés est assez probable.

2

Problématique

2.1 Introduction

Dans ce chapitre nous nous intéressons à la problématique de construction de planning pour les agents qui travaillent dans un contexte aéronautique, le personnel au sol de l'Aéroport d'Alger Houari Boumediene. Le problème de planification d'horaires de travail est un problème classique de la recherche opérationnelle, étudié depuis plusieurs décennies.

2.2 Problématique

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 aéroports d'une manière générale, les compagnies aérienne soit elle dépend des sociétés d'assistance au sol ou elles sont auto-assistance comme le cas de la compagnie Air Algérie au niveau de l'Aéroport d'Alger. Lorsqu'un avion atterrit ou il se prépare pour décoller, les compagnies aéroportuaire fournis aux aéronefs et aux passagers un nombre important de services effectués par les différents groupes de personnel au sol. De ce fait, elles sont soumises à de nombreux problèmes de décision et de planification qui doivent continuellement être résolue afin d'offrir un service rapide et fiable dans un environnement concurrentiel. En effet, la complexité de la gestion des opérations au sol au niveau de l'Aéroport d'Alger relatives à la fourniture des différents services nécessaire au traitement des avions, des passagers et du fret, requière la mise en place d'une organisation de l'affectation des ressources limitées (humains et matériels) et propres à l'escale.

La complexité de la gestion de ces opérations dépend de plusieurs facteurs, tels que :

- La Qualité de service.
- La compétence humaine et la qualité du matériel.
- Un planning de vol optimisé.

- Un espace de travail organisé.
- La conformité à la réglementation d'IATA (Agence International du Transport Aérien).

La compagnie Air Algérie au niveau de l'Aéroport d'Alger est chargée d'apporter à ces propres avions et passagers en escale des services tels que : de parquer l'appareil à l'arrivée et de le faire décoller au départ, nettoyage de cabine, mettre le matériel nécessaire pour faire descendre les passagers et les bagages, faire le déchargement et le chargement, la traçabilité du bagage en cas d'oubli ou de mauvais enregistrement...

Pour accomplir ces services la compagnie a besoins d'un nombre important de ressource.

2.2.1 Description de problème

La complexité de la prise en charge des opérations d'assistance au sol des passagers et des avions requiert une optimisation et une planification des ressources convenables à chaque escale sachant que le Handling d' Air Algérie est assuré par la Direction des Opérations au Sol et dépend de la Division Exploitation qui elle-même dépend du pole Opérations.

La programmations des vols d'Air Algérie impose un ensemble des tâches à effectuer au sol. Ces tâches sont effectuées par ce que l'on appelle le personnel au sol (manutentionnaire, agent escale, agent de nettoyage, coordonnateur, chef avion ...). Air Algérie suit une politique qui consiste à partager la journée en deux :

- Une durée de travail allant de 7 heures à 19 heures.
- Une autre commençant de 19 heures jusqu'à 7 heure du lendemain.

En plus, le planning hebdomadaire est valable pendant un trimestre. 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 il y a des tâches bien ordonnées à effectuer selon le diagramme suivant :

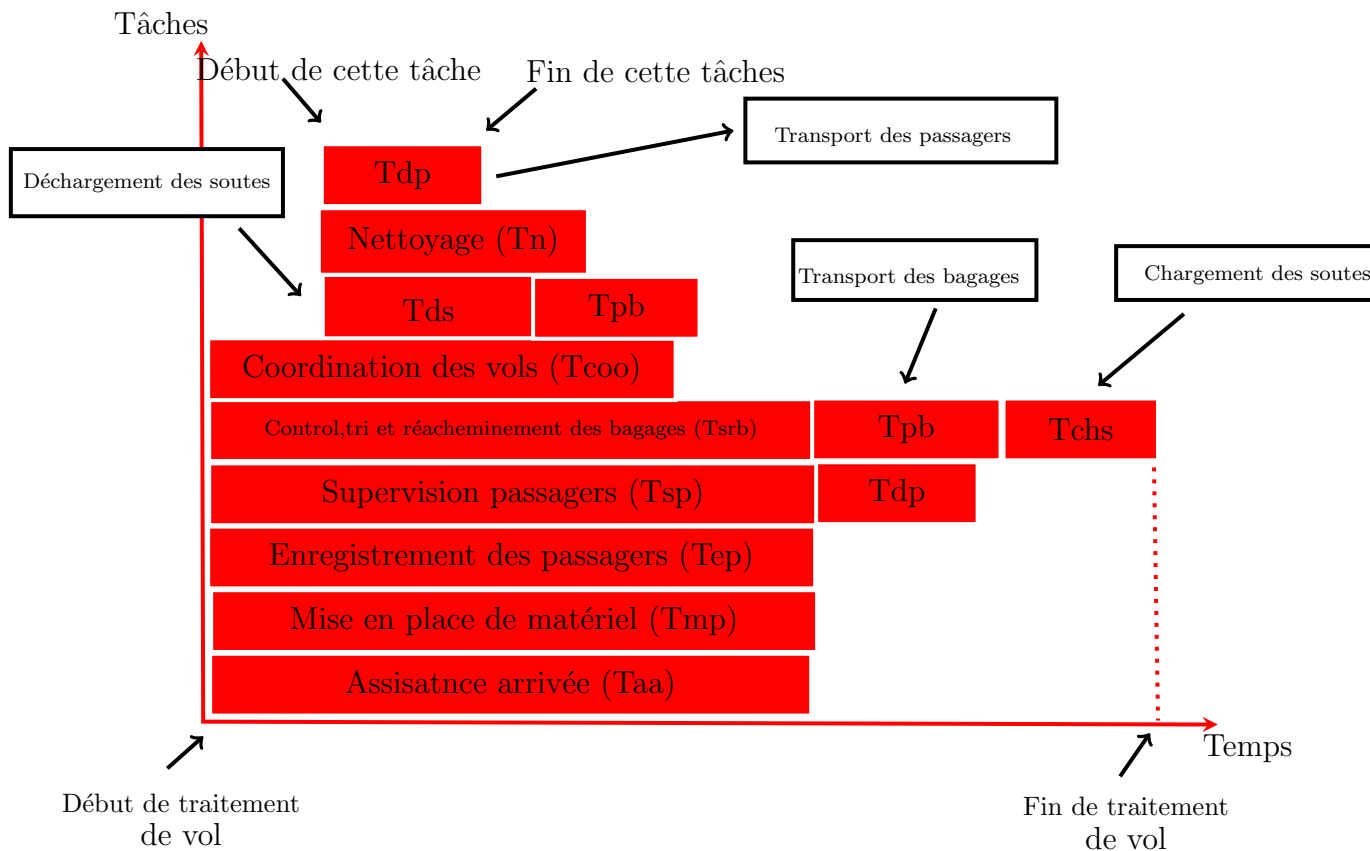


FIGURE 2.1 – Ordonnancement des tâches

Nous allons classées la flotte d'Air Algérie selon trois catégories voici un tableau explicatif :

Grand porteur (G)	Moyen porteur (M)	Petit porteur (P)
A330,B767	B736, B738	AT72

Les ressources dont nous allons parler sont le personnel au sol (manutentionnaire, chauffeur tracteur, agent d'escale, chef de file,...) et le matériel (les cales, GPU, ASU, chariot...). Voici un tableau qui résume les tâches avec ses besoins matériels et humains.

Les Tâches	Ressources humaines	Ressources matérielles
Assistance arrivé (Taa)	Mécanicien	/
Mise en place des matériels (Tmp)	Agent de servitude	- Cales - GPU - ASU
Transport des passagers (Tdp)	Agent d'escale	- Bus de grand capacity - Mini bus
Nettoyage (Tn)	Agent de nettoyage	- Aspirateur
Déchargement des soutes (Tds)	Manutentionnaire	- Chariot - Tapis roulant.
Supervision passagers(Tsp)	Chef de file	- Equipements DCS
Enregistrement des passagers(Tep)	Agent d'escale	- Equipements DCS
Coordination des vols (Tcoo)	Coordonnateur	- Véhicule de liaison Radio VHF
Contrôle,tri des bagages(Tsrb)	Agent de tri des Bagages.	- Chariot bagage
Chargement des soutes (Tchs)	manutentionnaire	- Chariot - Tapis roulant.
Transporter les bagages (Tpb)	chauffeur.tract	chariot ,tracteur

Le tableau ci-dessous présente les tâches et ces nécessite en terme de ressource en nombre et leurs durées d'exécution (on considère que le temps de déplacement est négligeable) selon les catégories des avions déjà classés.

Tâche T_j	Durré de traitement (mn)			Demande au Ressource humaine DH_j			Demande au Ressource Matérielle (DM_j)		
	G	M	P	G	M	P	G	M	P
Taa	180	120	90	1	1	1	/	/	/
Tmp	180	120	90	2	1	1	6	6	4
Tdp	15	15	10	8	6	2	2	2	2
Tn	20	20	15	8	6	2	2	2	1
Tds	25	25	10	6	4	3	9	7	3
Tsp	180	120	60	1	1	1	1	1	1
Tep	180	120	60	3	2	2	1	1	1
Tcoo	90	90	35	1	1	1	1	1	1
Tsrb	180	120	90	2	2	1	2	2	2
Tchs	30	25	20	5	3	2	9	7	3
Tpb	10	10	10	2	2	1	2	2	1

Nous pouvons définir facilement l'instant de départ et de fin de n'importe quelle tâche pour tous les vols de la période à partir de :

- L'heure d'arrivée ou de départ de l'avion.
- L'ordonnancement des tâches est bien fixé.
- La durée d'exécution de la tâche.

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 et le matériel (en optimisant en nombre et en qualité adéquate à sa réalisation). En effet, notre problème est divisé en deux sous-problèmes :

- * Le problème A : consiste à la création des vacations de travail, on a fait appel aux graphes, en particulier les graphes d'intervalles et à la multicoloration qui sont présentés dans le prochain chapitre.
- * Le problème B : consiste à affecter le personnel aux vacations déjà créés.

2.2.2 Objectifs

Notre objectif est d'élaborer une application portant sur la planification optimale des ressources indispensables aux services d'assistance demandés pour chaque vol d'une période à l'escale d'Alger (au niveau d'Aéroport Houari Boumediene). Par considération d'une période donnée, pour son exécution, il est demandé de :

- * Déterminer les tâches dont les vols ont besoins.
- * Déterminer le nombre minimum de personnels pour chaque période donnée.
- * Affecter à chaque tâche sa demande en personnels et matériels.

2.3 Conclusion

Dans ce chapitre, on a posé la problématique dont le principe est de décomposer le problème en deux sous problèmes où la résolution du deuxième se fait à partir de résultats obtenue de celle du premier.

3

Aperçue sur la théorie des graphes

Introduction

La théorie des graphes constitue un domaine des mathématiques qui, historiquement, s'est aussi développé au sein de disciplines diverses telles que la chimie (modélisation de structures), la biologie, les sciences sociales (modélisation des relations) ou en vue d'applications industrielles (problème du voyageur de commerce). Elle constitue l'un des instruments les plus courants et les plus efficaces pour résoudre des problèmes discrets posés en Recherche Opérationnelle. De manière générale, un graphe permet de représenter simplement la structure, les connexions et les cheminements possibles d'un ensemble complexe comprenant un grand nombre de situations, en exprimant les relations et les dépendances entre ses éléments (réseau de communication, réseaux ferroviaire ou routier, arbre généalogique, diagramme de succession de tâches en gestion de projet,...). En plus de son existence purement mathématique, le graphe est aussi une structure de données puissante pour l'informatique.

3.1 Définition de base

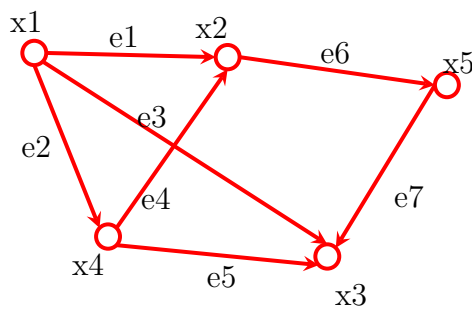
3.1.1 Qu'est-ce qu'un graphe ?

Un graphe $G = (V, E)$ est défini par deux ensemble fini :

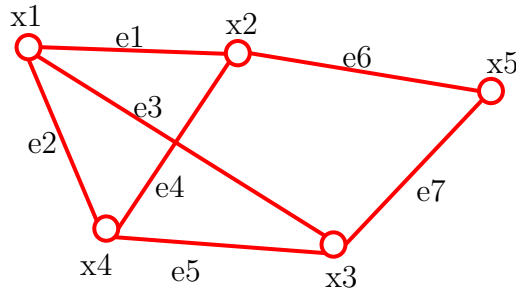
- $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ dont les éléments sont appelés sommets.
- $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ dont les éléments sont appelés arcs .

Un arc e de l'ensemble E est définie par une paire non ordonnée de sommets, appelés les extrémités de e . Si l'arc e relie les sommets x et y , on dira que ces sommets sont adjacents, ou incidents avec e , ou bien que l'arc est incident avec les sommets x et y . [10] Un graphe peut être orienté ou non.

- Dans un graphe orienté les couples $(x, y) \in E$ sont orientés, ou x est le sommet initial et y le sommet terminal. Un couple (x, y) est appelé un arc.
- Dans un graphe non orienté, les couples $(x, y) \in E$ ne sont pas orienté, c'est à dire que (x, y) est équivalent à (y, x) . Une paire (x, y) est appelée une arête.



Graphe orienté



Graphe non orienté

Terminologie[11]

- **Voisin d'un sommet** : le sommet y est un voisin du sommet x s'il existe un arc de la forme (x, y) ou la forme (y, x) .
- **Voisin d'une arête** : deux arêtes sont dites adjacentes si seulement si elles ont une extrémité commune.
- **Ordre d'un graphe** : l'ordre d'un graphe est le nombre de sommets de ce graphe.
- **Degré d'un sommet** : noté $d(x)$, est la somme du degré entrant $de(x)$ et du degré sortant $ds(x)$ tel que :
 - Degré sortant d'un sommet x , $ds(x)$ est le nombre d'arcs qui en partent de x .
 - Degré entrant, $de(x)$ est le nombre d'arcs qui y arrivent à x .
- **Ensemble de voisin** : l'ensemble des voisins d'un sommet x est appelé "voisinage de x ", on le note $N(x)$.
- **Boucle** : est une arête ou arc partant d'un sommet et allant vers lui-même. Les boucles ne sont pas autorisées dans les graphes simples.
- **Arête multiple** : ensemble d'arêtes parallèles relatif à un couple de sommets.
- **Corde** : arête reliant deux sommets non-adjacents d'un cycle.
- **Chaîne** : est une suite de sommets reliés par des arêtes, commençant et se terminant par un sommet. La longueur d'une chaîne est le nombre d'arêtes utilisées.
- **Stable** : un sous ensemble de sommets $I \in V$ d'un graphe $G = (V, E)$, est un stable s'il ne comprend que des sommets non adjacents deux à deux : $\forall x \in I, \forall y \in I \rightarrow (x, y) \notin E$.
- **Clique** : un sous ensemble de sommets $I \in V$ est une clique s'il ne contient que des sommets deux-à-deux adjacents : $\forall x \in I, \forall y \in I \rightarrow (x, y) \in E$.
- **Clique maximum** : est une clique dont le cardinal est le plus grand (c'est-à-dire qu'elle possède le plus grand nombre de sommets). Le cardinal d'une telle clique maximum est une caractéristique du graphe, appelée nombre de clique, et que l'on peut relier à son nombre chromatique.
- **Chemin** : suite de sommets reliés par des arcs dans un graphe orienté.
- **Cycle** : chaîne qui revient à son point de départ.
- **Arbre** : graphe connexe ne contenant aucun cycle.
- **Graphe connexe** : un graphe G est dit connexe si pour toute paire de sommets (x, y) de G , il existe une chaîne de premier terme x et de dernier terme y .
- **Couplage** : on appelle couplage d'un graphe G un sous-ensemble d'arêtes non adjacentes deux à deux.

- **Graphe simple** : un graphe simple est un graphe sans boucle tel que, entre deux sommets, il y ait au plus une arête.
- **Graphe complet** : est un graphe simple dont tous les sommets sont adjacents, c'est-à-dire que tout couple de sommets disjoints est relié par une arête. Si le graphe est orienté, on dit qu'il est complet si chaque paire de sommets est reliée par exactement deux arcs (un dans chaque sens).
- **Graphe planaire** : un graphe planaire est un graphe que l'on peut dessiner sur une surface plate sans que ses arêtes se croisent. Les graphes que l'on ne peut pas dessiner sans croisement sont dits non planaires.
- **Graphe planaire extérieur** : un graphe non orienté est planaire extérieur (ou, par calque de l'anglais, *outer-planar*) s'il peut être dessiné dans le plan sans croisements des arêtes, de telle façon que tous les sommets appartiennent à la face extérieure du tracé, autrement dit qu'aucun sommet ne soit entouré par des arêtes.
- **Graphe pondéré** : un graphe pondéré est un graphe auquel on adjoint une fonction de valuation. Un graphe peut être pondéré/valué sur ses sommets comme sur ses arêtes. On note $p(x)$ (resp. $p(i)$) le poids d'un sommet x (resp. i) et $p(x, x')$ (resp. $p(i, j)$) le poids d'une arête (x, x') (resp. (i, j)).
- **Graphe partiel et sous-graphe** : soit $G = (V, E)$ un graphe. Le graphe $G' = (X, E')$ est un graphe partiel de G , si E' est inclus dans E . Autrement dit, on obtient G' en enlevant une ou plusieurs arêtes au graphe G .
Pour un sous-ensemble de sommets A inclus dans V , le sous-graphe de G induit par A est le graphe $G = (A, E(A))$ dont l'ensemble des sommets est A et l'ensemble des arêtes $E(A)$ est formé de toutes les arêtes de G ayant leurs deux extrémités dans A . Autrement dit, on obtient G' en enlevant un ou plusieurs sommets au graphe G , ainsi que toutes les arêtes incidentes à ces sommets.
- **Graphe parfait** : un graphe pour lequel le nombre chromatique de chaque sous-graphe induit et la taille de la plus grande clique dudit sous-graphe induit sont égaux. Un graphe G est donc parfait si pour tout sous-graphe induit G' de G on a $\chi(G') = \omega(G')$.
- **Graphe biparti** : Un graphe est biparti si ses sommets peuvent être divisés en deux ensembles X et Y , de sorte que toutes les arêtes du graphe relient un sommet dans X à un sommet dans Y . Les arbres sont des exemples des graphes bipartis. Si G est biparti, il est habituellement noté par $G = (X, Y, E)$, où E est l'ensemble des arêtes.

3.2 Mode de représentation graphique

Un certain nombre de représentations existent pour décrire un graphe. En particulier, elles ne sont pas équivalentes du point de vue de l'efficacité des algorithmes. On distingue principalement la représentation par matrice d'adjacence, par matrice d'incidence sommets-arcs (ou sommets-arêtes dans le cas non orienté) et par liste d'adjacence.[23]

3.2.1 Matrice d'adjacence

Soit $G = (V, E)$ un graphe d'ordre n , avec $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$. On appelle matrice d'adjacence de G de taille $n \times n$ la matrice carrée $M = (m_{ij})_{1 \leq i, j \leq n}$ telle que :

$$m_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } v_i v_j \in E. \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

La matrice d'adjacence d'un graphe est symétrique, ayant pour éléments 0 et 1, avec des 0 sur la diagonale principale.

Exemple :

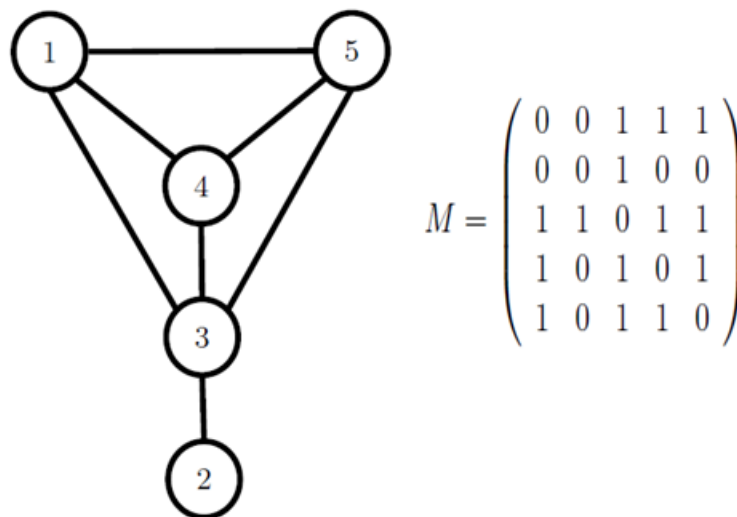


FIGURE 3.1 – Matrice d'adjacence

La matrice d'adjacence dépend de l'étiquetage choisie sur les sommets du graphe, elle nécessite un espace mémoire de n^2 unités dans le cas des graphes simples.

3.2.2 Matrice d'incidence

Pour un graphe orienté

La matrice d'incidence (sommets-arcs) pour le graphe orienté est de taille $n \times m$, les sommets sont associés aux lignes, les arcs aux colonnes. Notons $M = (m_{ij})$ la matrice d'incidence associée au graphe. $G=(V, E)$ pour pouvoir l'écrire, nous devons numéroter les arcs du graphe. On obtient alors :

$$m_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si le sommet } x \text{ est le sommet origine de l'arc } e. \\ -1 & \text{si le sommet } x \text{ est le sommet destination de l'arc } e. \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

Le graphe est alors représenté par le tableau de ses valeurs comme nous montre la figure suivante :

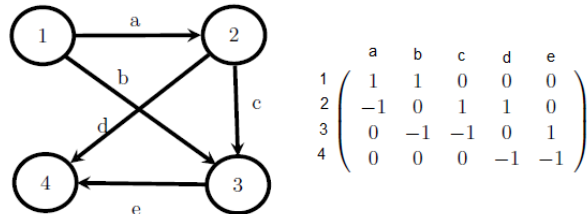


FIGURE 3.2 – Matrice d'incidence d'un graphe orienté

Pour un graphe non orienté

Un graphe non orienté sans boucle à n sommets numérotés et m arcs numérotés peut être représenté par une matrice (n, m) d'entiers, l'élément m_{ij} vaut :

$$m_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si le sommet } x \text{ est une extrémité de l'arête } e. \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

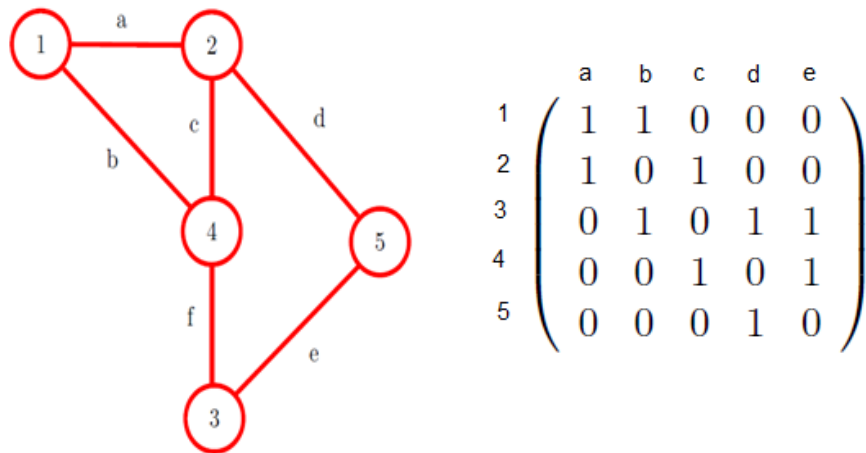
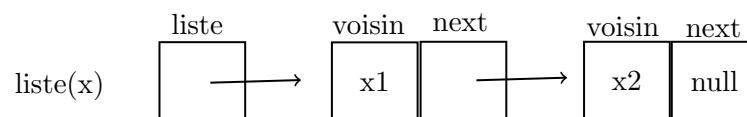


FIGURE 3.3 – Matrice d'incidence d'un graphe non orienté

3.2.3 Liste d'adjacence

Cette représentation consiste en un tableau de n (avec n le nombre de sommets du graphe) listes chaînées. Pour chaque sommet x du graphe, on aura sa liste d'adjacence $\text{liste}(x)$ qui sera composée des sommets adjacents à x . Toujours avec notre graphe non orienté, on aura :



Voici un exemple :

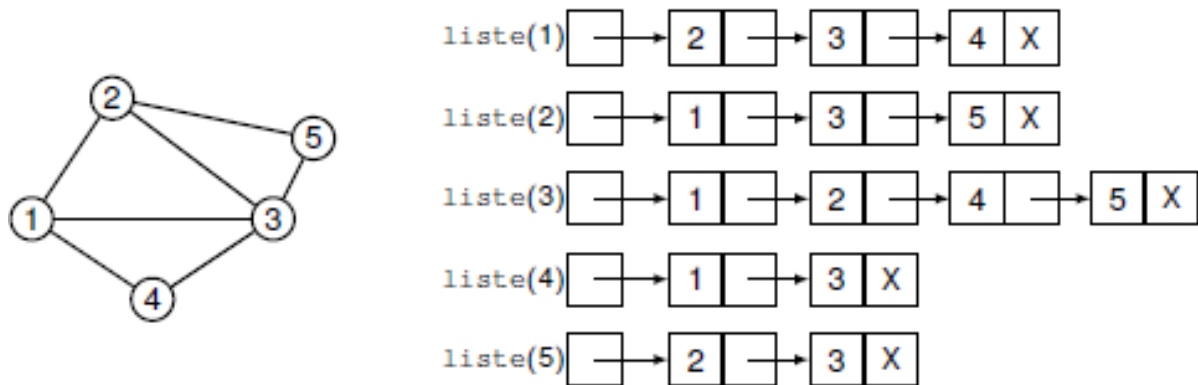


FIGURE 3.4 – Liste d'adjacence

3.3 Généralités sur les graphes triangulés

Définition 3.1 Un graphe est triangulé si tous ses cycles de plus de 3 sommets contiennent au moins une corde (arête reliant deux sommets non adjacents d'un cycle).[9]

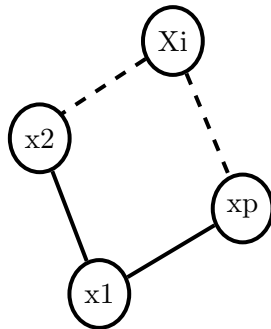
Définition 3.2 Un sommet x de G est simplicial si tous ses voisins sont adjacents 2 à 2.[11]

Théorème 3.3.1 Tout graphe triangulé G autre qu'une clique contient au moins deux sommets simpliciaux non adjacents.[11]

Définition 3.3 Un schéma d'élimination parfait est un ordre $x_1 < \dots < x_{|k|}$ des sommets tel que x_i est simplicial dans $G[\{x_i, \dots, x_{|k|}\}]$. Autrement dit, à chaque fois qu'on retire un sommet de G son voisinage forme une clique.[9]

Théorème 3.3.2 Un graphe est triangulé si et seulement si'il possède un schéma d'élimination parfait.

Graphe Triangulé

 $(p \geq 4)$

sommet simplicial :
Tous ses voisins sont adjacents 2 à 2

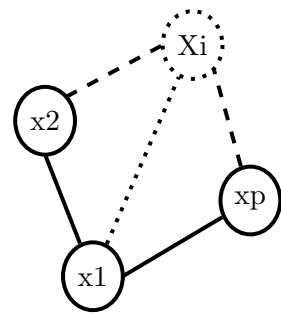
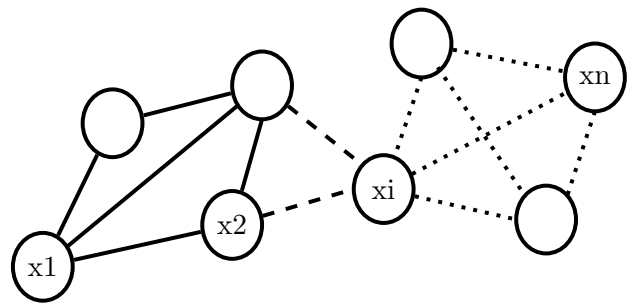
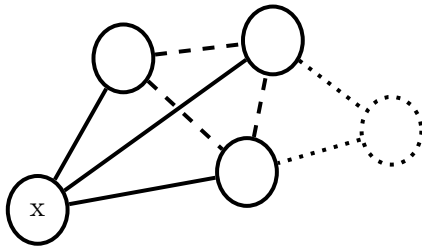


Schéma délimination simplicial :
 $x_1, x_2, \dots, x_n$



3.4 Les graphes d'intervalles

Un **graphe d'intervalles** est le graphe d'intersection des intervalles sur une droite. Donc, étant donné un ensemble $E = E_1, \dots, E_n$ d'intervalles sur une droite, on lui associe le graphe d'intervalles $G = (V, E)$ où $V = 1, \dots, n$, et deux sommets x et y sont reliés par une arête si et seulement si $E_x \cap E_y \neq \emptyset$.

Autrement dit, deux sommets sont reliés si et seulement si les deux intervalles correspondants se chevauchent.[23]

Exemple :

Considérons, sur une droite, une famille $E = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ des intervalles, on peut former un graphe G d'intervalles comme suit :

- Les sommets 1,2,3,4,5,6,7 représentent respectivement les intervalles $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7$.
- Deux sommets étant adjacents si et seulement si les intervalles correspondants s'intersectent.

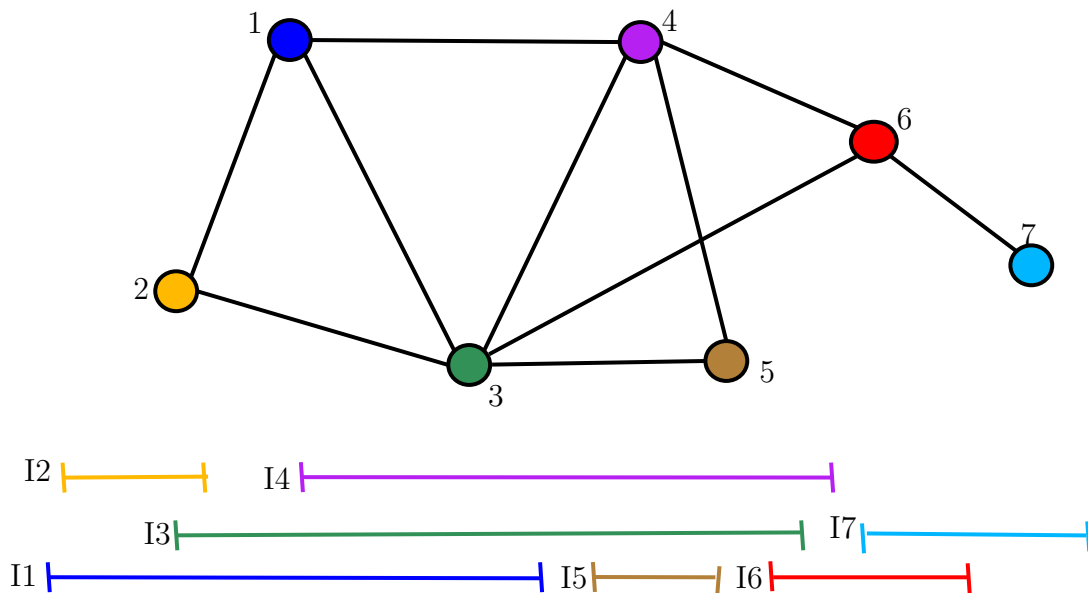


FIGURE 3.5 – Graphe d'intervalles

Propriété 3.1 Un graphe est un graphe d'intervalles si et seulement si, il possède un schéma d'élimination parfait. Il est très facile de déterminer un schéma d'élimination parfait dans un graphe d'intervalles. Il suffit de choisir un sommet simplicial (c'est-à-dire dont tous les voisins sont reliés entre eux) et de le nommer v_1 . On supprime alors ce sommet du graphe et on recherche un sommet simplicial dans le graphe résiduel que l'on nomme v_2 . On poursuit ainsi jusqu'à ce que le graphe résiduel soit vide.

Théorème 3.4.1 Tout graphe d'intervalles est un graphe triangulé.

Théorème 3.4.2 Tout graphe d'intervalles est parfait.

Remarque La classe des graphes d'intervalles est incluse dans la classe des graphes triangulés.

3.5 Coloration des graphes

[9] La coloration des graphes permet de modéliser de nombreux problèmes réels, depuis le placement de personnes autour d'une table ou de pièces sur un échiquier jusqu'aux différents problèmes d'ordonnancement et de planning de la vie de tous les jours (réservation de ressources, logistique,...) et notamment dans le domaine des réseaux/télécom. Il n'y a pas une seule façon de colorier les graphes mais plusieurs (un très grand nombre même).

On peut déjà vouloir colorier différents éléments d'un graphe (les sommets, les arêtes, les faces, un mélange de ces éléments, des sous structures,...) et à ceci peut s'ajouter différentes contraintes. La contrainte la plus courante est celle de la propriété : deux éléments voisins doivent avoir des couleurs différentes. Bien que différents éléments d'un graphe puissent être coloriés, on peut toujours se ramener à un problème de coloration de sommets. C'est donc le paramètre de coloration le plus général (et le plus étudié).

Définition 3.4 Etant donné un graphe $G = (V, E)$, une coloration propre des sommets est une fonction qui attribue une couleur à chaque sommet de sorte que deux sommets adjacents aient des couleurs différentes.[5]

Le nombre minimum de couleurs d'une coloration propre des sommets de G est appelé le **nombre chromatique** de G est noté $\chi(G)$. Si $\chi(G) \leq k$, on dit que G est **k-coloriable**.

Encadrement du nombre chromatique :

* **Majoration :** $\chi(G) < \Delta(X) + 1$, où $\Delta(X)$ est le plus grand degré de ses sommets.

* **Minoration :** Le nombre chromatique d'un graphe est supérieur ou égal à celui de chacun de ses sous graphes.

Le nombre chromatique du graphe sera supérieur ou égal à l'ordre de sa plus grande clique, $\chi(G) \geq \omega(G)$ où $\omega(G)$ est la taille maximum des cliques du graphe.[9]

Remarque La coloration minimale (au sens du nombre de couleurs utilisées) d'un graphe quelconque est un problème NP-complet.

3.6 Coloration pondéré

On considère le problème de coloration pondérée '**multi-coloration**' de graphes, c'est-à-dire que l'on veut affecter à chaque sommet non pas une couleur mais un certain nombre (propre à chaque sommet) de couleurs avec toujours la contrainte de propriété qui impose que deux sommets adjacents n'aient pas les mêmes couleurs.

Ce problème est abordé en relation avec les problèmes d'allocation de fréquence dans les réseaux hertziens, d'allocation des ressources et d'allocation de longueurs d'onde dans les réseaux optiques.[8]

Définition 3.5 Etant donné un graphe G et une pondération des sommets

$w : V(G) \rightarrow \mathbb{N}$, une coloration du graphe pondéré (G, w) (ou multicoloration de G) est une fonction $M : V(G) \rightarrow P(\mathbb{N})$ telle que chaque sommet x reçoit $w(x)$ couleurs et deux sommets adjacents ont des ensembles de couleurs disjoints.

Le nombre chromatique pondéré noté $\chi(G, w)$ est le nombre minimum de couleurs pour une coloration de (G, w) .

La plupart des travaux dans ce domaine tentent de majorer le nombre chromatique pondéré d'une classe de graphe en terme du poids maximum des cliques $W(G, w)$ (le poids d'une clique K est $\omega(K) = \sum_{x \in K} w(x)$ et $W(G, w) = \max_K \omega(K)$) du graphe pondéré (G, w) .

On a en effet $\chi(G, w) \geq W(G, w)$ pour tout graphe.[24]

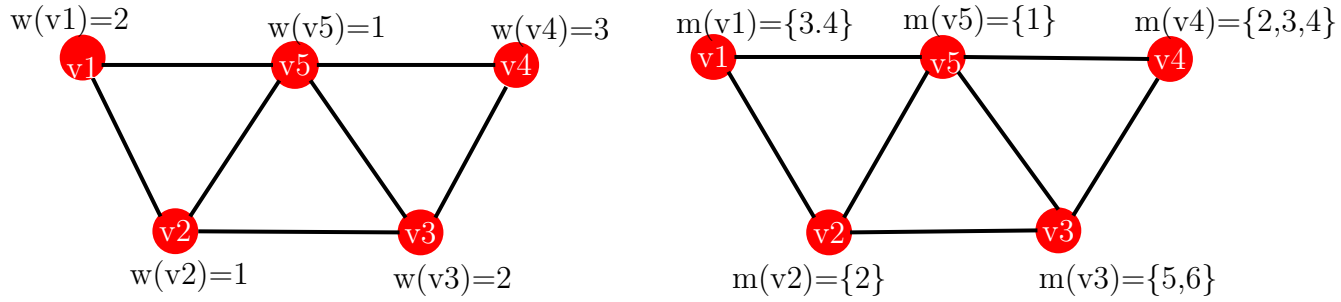
Théorème 3.6.1 La multicoloration est NP-difficile au sens fort dans les graphes d'intervalles. De plus, le problème de trouver $\chi(G, W)$ est également NP-difficile (au sens fort) dans les graphes d'intervalles.

La multi-coloration admet une formulation mathématique, comme suit :

$$G = (V, E) \quad W : V \rightarrow N \quad M : V \rightarrow P(N) \\ x \rightarrow w(x) \quad x \rightarrow m(x)$$

$$|m(x)| = w(x), \forall x \in V \quad \text{et} \quad m(x) \cap m(y) = \emptyset, \forall xy \in E$$

Exemple



Dans cet exemple, le nombre total de couleur demandé est 9 (la somme des $w(x)$) et la coloration proposée utilise 6 couleurs.

Remarque La coloration des sommets d'un graphe d'intervalle, avec un nombre minimum de couleurs, revient à la coloration du graphe triangulé car la classe des graphes d'intervalles est incluse dans la classe des graphes triangulés.

Remarque Des algorithmes de multicoloration optimaux existent pour les graphes bipartis (avec $\chi(G, w) = W(G, w)$), ainsi que pour les graphes planaires extérieurs et les cycles.

3.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les notions de base de la théorie des graphes qui seront utilisées pour la la modélisation de notre problème dans le chapitre suivant.

4

Modélisation

Introduction

La modélisation est une étape cruciale dans l'élaboration du schéma de résolution d'un problème appartenant aux domaines d'application de 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 mathématiques et en informatique, un modèle est 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. Un modèle n'est jamais parfait, ni totalement représentatif de la réalité : le choix des paramètres, des relations et outils qui les lient éclaire la finalité. Au sein d'un même modèle, le choix des valeurs des paramètres peut permettre d'appréhender divers aspects, ou encore des réalités différentes. Sans entrer dans les détails de la théorie de la modélisation, il faut noter que cette branche a ouvert les portes pour bien comprendre les problèmes ensuite chercher les solutions.

4.1 Modélisation du problème

Le programme des vols d'une 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 aux aéroports et des tâches techniques comme le guidage de l'avion sur la piste d'atterrissage, la mise en place des Passerelles, les vérifications techniques, le remplissage du réservoir,...

C'est le personnel au sol qui effectue ces tâches.

La création d'un planning consiste à partager entre les employés toutes les tâches à effectuer durant un intervalle temporel donné, 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 des tâches à effectuer et la complexité de la réglementation.

C'est pour cette raison notre problème est décomposé en deux sous-problèmes : la création de vacations et l'affectation des vacations aux personnels.

4.1.1 Le problème A

Avant de décrire le modèle utilisé et la méthode que nous proposons pour la création des vacations, nous allons présenter avec plus de détails les notions de tâche et de vacation, leurs caractéristiques et les différents types rencontrés.

Les tâches :

Une tâche est un travail (opération ou ensemble d'opérations) concrètement identifiable, concerné par la réalisation, et dont l'exécution se trouve complètement décrite par les trois caractéristiques suivantes :

- ★ **Caractéristiques d'époques** : une tâche doit avoir des limites chronologiques bien définies.
 - d_i date de début de la tâche.
 - f_i date de fin de la tâche.
- ★ **Caractéristique de durée** : $t_i = f_i - d_i$ durée du travail
- ★ **Caractéristique de ressource** : Il s'agit de divers moyens (matériels, personnels, fournitures, monnaie ...) qui sont nécessaires à l'exécution des tâches.
 Une ressource k est donc, un moyen humain ou technique qui est utilisé dans la réalisation d'une tâche. Elle est disponible en quantité limitée.

La disponibilité est généralement exprimée par une capacité propre à chaque ressource k notée $Q_k (Q_k \geq 1)$.

On distingue deux types de ressources :

- **Ressource consommable** : une ressource est consommable si, après avoir été allouée à une tâche, elle n'est plus disponible pour les tâches suivantes. Le cas pour l'argent, la matière première...
- **Ressource renouvelable** : une ressource est renouvelable si, après avoir été allouée à une tâche, elle redevient disponible après la fin de cette tâche pour les tâches suivantes. C'est le cas pour les machines, les processeurs, les fichiers, le personnel ...

La ressource humaine appartient à la classe des ressources renouvelables et on peut citer un des cas particuliers comme le personnel au sol (la ressource équipe-type) qui consiste à classer les ouvriers et les matériels par des groupes chacun de son métier. Elle est caractérisée par

- Le nom de la tâche.
- Les personnels qui y travaille dans cette tâche.
- Les matériels utilisés dans cette tâche.
- Les consommables.

Les vacations :

On appelle **vacation** un ensemble des tâches exécutées consécutivement par la même personne pendant son service journalier. Chaque vacation est caractérisée par un numéro identifiant, une date de début, une heure de début et une heure de fin, la qualification requise pour la personne qui doit la réaliser (la même pour toutes les tâches de la vacation) et la liste des tâches

comprises. Les tâches de chaque vacation ne se recouvrent pas entre elles et que les durées d'exécution de ces tâches ne doivent pas dépasser la durée de la vacation.[5]

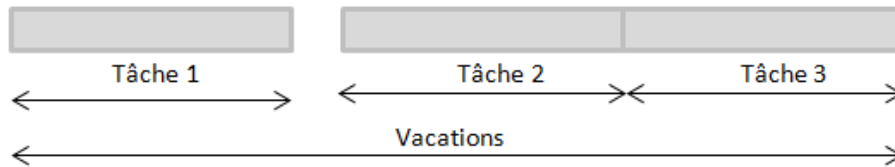


FIGURE 4.1 – Vacation

Modélisation par les graphes

Parmi les outils les plus puissants de la modélisation mathématique et informatique on cite la théorie des graphes.

Un graphe permet de représenter la structure, les connexions d'un ensemble complexe en exprimant les relations entre ses éléments : réseau de communication, réseaux routiers, interaction de diverses espèces animales, circuits électriques,...

Les graphes constituent donc une méthode de pensée qui permet de modéliser une grande variété de problèmes en se ramenant à l'étude de sommets et d'arcs (représentation binaire). Les travaux en théorie des graphes sont souvent effectués par des informaticiens, du fait de l'importance qu'y revêt l'aspect algorithmique.

Si on cherche à minimiser le nombre d'employés nécessaire pour effectuer toutes ces tâches, cela est équivalent à déterminer une coloration des sommets qui utilise un nombre minimum de couleurs.

Notre planning de vol de la journée est découpé suivant deux périodes (07 :00 → 19 :00 et 19 :00 jusqu'à 07 :00 de le lendemain), dont chacune comporte un certain nombre des vols. Nous montrons dans la figure ci-après le programme des vols pour la période du 07 :00 à 19 :00, où les cases de tableau représente : REG (Registration), Avion donc soit (Airbus A330, ou Boeing 767, Boeing 736, Boeing 738, AT72), ARR c'est (pays d'escale ou ALG est Alger), STA (heure de départ prévue), et la dernière case représente les catégorés d'avion (Grand, Moyen, et petit porteur).

REG	Avion	ARR	STA	type d'avion
7T-VUL	AT72	ALG	07 :25	P
7T-VJG	B767	ALG	07 :30	G
7T-VJR	B736	ALG	07 :45	M
7T-VJN	B738	ALG	08 :00	M
7T-VJY	A330	ALG	08 :05	G
7T-VUO	AT72	ALG	08 :05	P
7T-VKF	B738	ALG	08 :10	M
7T-VUP	AT72	ALG	08 :30	P
7T-VUJ	AT72	ALG	09 :00	P
7T-VJW	A330	ALG	09 :10	G
7T-VUN	AT72	ALG	09 :20	P
7T-VUI	AT72	ALG	09 :55	P
7T-VJV	A330	ALG	10 :40	G
7T-VVQ	AT72	ALG	11 :00	P
7T-VJH	B767	ALG	11 :55	G
7T-VUJ	AT72	ALG	12 :10	P
7T-VUM	AT72	ALG	12 :20	P
7T-VJX	A330	ALG	12 :40	G
7T-VUS	AT72	ALG	12 :45	P
7T-VJI	B767	ALG	12 :45	G
7T-VJQ	B736	ALG	12 :45	M
7T-VKG	B738	ALG	13 :00	M
7T-VUI	AT72	ALG	13 :20	P
7T-VUO	AT72	ALG	13 :20	P
7T-VKF	B738	ALG	13 :40	M

Dans une période bien déterminée de 12 heures, on notera par n le nombre total des vols. On sait que pour tout vol, 11 tâches indépendantes et fixes lui sont nécessaire, et il possède un ordonnancement bien défini. On notera l'ensemble des tâches du vol i par :

$$Vol_i = \{T_{i1}; \dots; T_{i11}\}$$

Pour une période, on note l'ensemble de toutes les tâches :

$$\text{Tâche} = \{T_{ij}/j^{eme} \quad \text{tâche} \quad \text{de} \quad i^{eme} \text{vol}, 1 \leq j \leq 11, 1 \leq i \leq n\}.$$

Pour une tâche j ($1 \leq j \leq 11$) choisie, on note par la collection d'intervalles.

$$Fj = \{I_{1j}, I_{2j}, \dots, I_{nj}\}$$

les intervalles de temps représentatives des tâches $T_{1j}, T_{2j}, \dots, T_{nj}$ où :

- $I_{ij} = [t_{ij}, c_{ij}]$ avec :
 - t_{ij} : l'instant du début de traitement de la tâche T_{ij} .
 - c_{ij} : l'instant de fin de traitement de la tâche T_{ij} .

Ces intervalles de la même famille sont réparties sur l'axe des temps de 12 heures, à savoir :

- La première période définit de 7 heure jusqu'à 19 heure.
- La deuxième est défini de 19 heure jusqu'à 7 heure du lendemain.

Ainsi pour, chaque tâche T_{ij} nous avons besoin de satisfaire sa demande en personnel et matériel. Sur ce, on définit la notion de poids comme étant la demande en personnel, tel que P_{ij} désigne le poids de la tâche j du i^{eme} vol.

Enfin, pour construire le graphe d'intervalles associé on procède comme suit :

Etant donné une famille d'intervalles $F_j (1 \leq j \leq 11)$, dans une période de la semaine (bien déterminée) à laquelle :

- On associe à chaque intervalle I_{ij} un sommet v_i : On note par V l'ensemble des sommets représentant les intervalles : $V = v_1, \dots, v_n$
- Une arête e relie v_i et v_k si et seulement si leurs intervalles respectifs se chevauchent :

$$e = v_i v_k \in E \text{ si et seulement si } I_{ij} \cap I_{kj} \neq \emptyset$$

On désigne par E l'ensemble des arêtes dans le graphe.

Exemple :

Nous avons considéré un ensemble de 8 vols choisis aléatoirement de la période du tableau précédent.

L'ensemble des vols est donc : $\{ vol_1 ; vol_2 ; \dots ; vol_8 \}$:

La choisie est **Tds** : Déchargement des soutes.

Le schéma ci-après montre la répartition des intervalles de temps de la tâche **Tds** sur l'ensemble de la période choisie.

Le poids de cette tâche varie aussi d'un vol à un autre, selon le type d'avions Grand (**G**), Moyen (**M**), Petit (**P**) (pour un grand porteur nous avons besoin de 6 Manutentionnaire, 4 pour moyen porteur et pour un petit porteur nous avons besoin de 3 manutentionnaire).

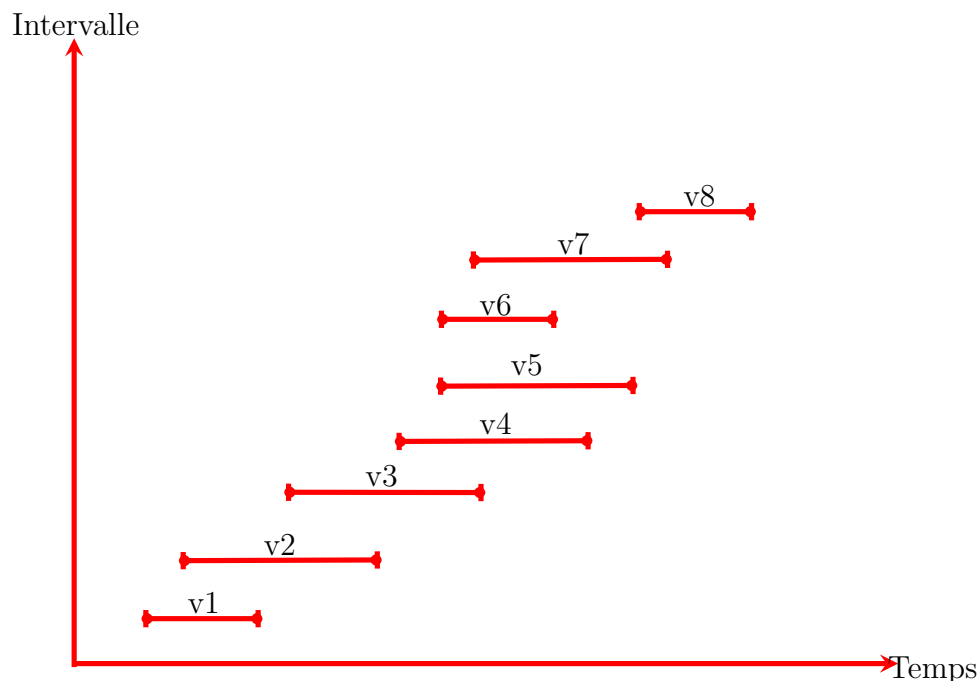


FIGURE 4.2 – Répartition des intervalles sur l'axe de temps

Le graphe de ces intervalles se construit comme suit :

$G = (V, E)$ et une pondération W où :

$$V = v_1; v_2; v_3, \dots v_8;$$

$$E = e_1; e_2, \dots e_{10};$$

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8
type	P	G	M	M	G	P	M	P
t_i	7 :25	7 :30	7 :45	8 :00	8 :05	8 :05	8 :10	8 :30
c_i	7 :35	7 :55	8 :10	8 :25	8 :30	8 :15	8 :35	8 :40
p_i	3	6	4	4	6	3	4	3

Nous obtenons le graphe suivant :

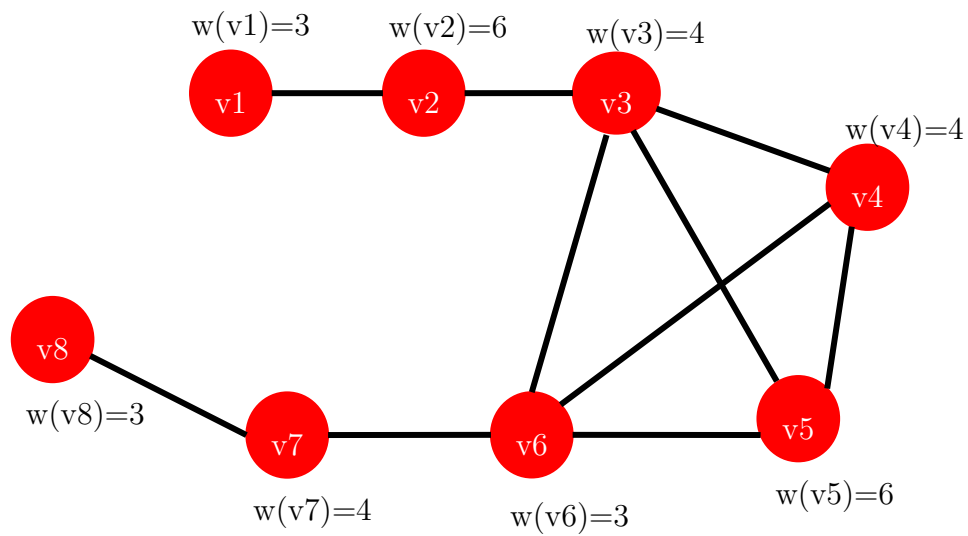


FIGURE 4.3 – Graphe d'intervalles associé

Remarque Nous tenons à préciser que tous les poids des intervalles partagent le même type de ressources.

4.1.2 Le problème B

Le problème B consiste à affecter les vacations déjà créé dans le problème A aux employés . Le problème d'affectation est l'un des problèmes d'optimisation combinatoire fondamentaux dans la branche d'optimisation ou de recherche opérationnelle en mathématiques.

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.

Problème d'affectation simple

Soit un ensemble de m opérations qui doivent être exécutées par n ressources, $n \geq m$. Chaque couple (opération i , ressource j) ($i = 1..m; j = 1..n$) 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 :

On a alors :

$$P = \left\{ \begin{array}{ll} \text{Min } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} & \\ \text{s.c } \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad \forall i \in \{1, \dots, m\} & (1) \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, \quad \forall j \in \{1, \dots, n\} & (2) \\ x_{ij} \in \{0, 1\} & \forall i \in \{1, \dots, m\}, \forall j \in \{1, \dots, n\} \end{array} \right.$$

Avec :

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

4.2 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons modélisé notre problème par la théorie des graphes.

5

Méthode de résolution

5.1 Introduction

En raison de la taille du problème, la résolution par une méthode exacte n'est pas envisageable car celle-ci nécessiterait un temps d'exécution très long, sur les machines existantes. Nous optons donc pour une optimisation approchée (heuristique) afin d'obtenir une solution aussi proche que possible de l'optimum en un temps raisonnable. Dans la résolution d'un problème de recherche opérationnelle, l'étape qui suit celle de la modélisation est la recherche des méthodes de résolution adéquates. C'est essentiellement le type du problème et sa complexité qui définit la méthode à utiliser.

Rappelons que notre problème est composé de deux sous problème ou chacun d'eux à sa propre méthode de résolution :

1. **Le problème A** : Consiste à créer les vacances.
2. **Le problème B** : Affecter du personnel à ces vacances.

5.2 Méthode de résolution du problème posé

Notre modélisation fournit un graphe intervalles non propre, car il existe des intervalles qui sont incluses dans d'autres. Cependant, la recherche du nombre minimum (des ressources Humaines ou matériels) ainsi que la création des vacances sont Considérée aussi bien que la recherche du nombre chromatique pondéré, dans le graphe d'intervalles associés. C'est ce qu'on appelle la multi-coloration.

On peut transformer le problème de multi-coloration en un problème de coloration en partant du graphe initial G , en remplaçant chaque sommet i par une clique $K(i)$ de taille $\omega(i)$ et en reliant toute paire de sommet de $K(i) \times K(j)$ par une arête si $(i, j) \in E$.

Dans le cas où le graphe considéré est de grande taille ou les pondérations sont importantes (grandes en valeurs), il est préférable de garder le problème sous forme de multi-Coloration (

notre cas) car le problème résultant de la transformation va être de très grande taille. Donnons par la suite les étapes de résolution pour les deux problème.

5.2.1 Le problème A

Pour la création des vacances dans cette partie, nous allons appliqué d'abord l'algorithme **Lex-BFS** au graphe d'intervalles cité dans le troisième chapitre, pour trouver un ordre des sommets pour que l'on puisse d'attribuer une coloration pondérée aux ses sommets par l'application de la première heuristique.

1 - Appliquer l'algorithme Lex-BFS

L'algorithme **LexBFS** (Lexicographique Breadth-First Search) de Ros, Trajan et Lueker est un algorithme qui a été défini dans le but de reconnaître les graphes triangulés.[17]

Cet algorithme se parcourt comme suit :

- Les sommets sont numérotés dans l'ordre inverse de leur visite.
- Chaque sommet x possède une marque, $marque(x)$, qui correspond à la liste ordonnée de ses voisins numérotés.
- A chaque fois qu'un nouveau sommet x est numéroté, son numéro est ajouté à la fin de $marque(y)$, pour tout voisin non numéroté y de x .
- Le nouveau sommet choisi est toujours un sommet ayant une marque maximum dans l'ordre lexicographique.

Algorithme 1 : Lex-BFS

Entrées: Un graphe $G=(V, E)$

Sorties: la numérotation λ des sommets de G

Début

pour chaque sommet $x \in V$ **faire**

 étiquette(x)= ϕ

fin pour

pour $i=n$ jusqu'à 1 **faire**

 choisir un sommet non numéroté $x \in V$ d'étiquette lexicographique maximum

$\lambda(i) \leftarrow x$

pour chaque voisin non numéroté y de x **faire**

 Ajouter i à étiquette (y)

fin pour

fin pour

Théorème 5.2.1 Lex-BFS calcule un ordre d'élimination simplicial si et seulement si le graphe G est triangulé. Sa complexité est $O(n+m)$, où $n=|X|$ et $m=|E|$. [1]

2 - Obtenir une coloration pondéré au graphe

La coloration des sommets d'un graphe d'intervalles, avec un nombre minimum de couleurs, revient à la coloration du graphe triangulé.

Pour obtenir cette coloration, nous allons appliqué l'heuristique suivante à fin de trouver le nombre minimum de couleurs pour un graphe d'intervalle tel que le nombre de couleurs utilisé ne dépasse pas la somme des poids :

- $P(v)$ représente le poids de sommet v tel que $(p(v) = |m(v)|)$.
- K est l'ensemble des couleurs utilisés.

Heuristique 1 : Multicoloration

Algorithme 2 : Multi-coloration

Entrées: Un graphe $G=(V,E)$.

- λ l'ordre obtenu par l'algorithme Lex-BFS.
- v' = sommet déjà colorer.
- v = le sommet à colorer.
- $m(v)$ = ensemble des couleurs de sommet v tel que les couleurs de même ensemble se différent .
- $m(v')$ = ensemble des couleurs des sommets non adjacents.
- $P(v)= |m(v)|$ = poids de sommet v .

Sorties: Ensemble des couleurs de chaque sommet.

Début

→Colorer le sommet non coloré selon l'ordre minimum de λ , par $P(v_1)$ couleurs choisie ;
 $m(v_1)$ reçoit les couleurs utilisé ;

répéter

Passer au sommet minimum suivant selon l'ordre λ ;

si le sommet v est non adjacent aux sommets déjà colorés **alors**
 colorer v par des couleurs déjà utilisées selon $P(v)$;

si $P(v) \leq P(v')$ **alors**

$m(v)$ reçoit les couleurs $m(v')$;

sinon

$m(v)$ reçoit les couleurs de $m(v')$ plus $(P(v)-P(v'))$ d'autres couleurs ;

fin

sinon

Colorer v par $P(v)$ différentes petites couleurs ;

$m(v)$ reçoit les couleurs utilisés ;

fin

jusqu'à

tout les sommets sont colorés ;

Notre deuxième heuristique a pour objectif de la construction des vacances

Heuristique 2 : Construction des vacances

Algorithme 3 : Construction des vacances

Entrées: Un graphe $G=(V,E)$;

- Multi-coloration de graphe G obtenu par l'heuristique 1 (Ensemble de couleur de chaque sommet) ;
- b_j = la durée totale d'une vacation ;
- t_v = la durée d'exécution de la tâche choisie pour le vol (v) "sommet" $v = \overline{1...N}$;
- VA_j ensemble des vacances tel que $j = \overline{1...K}$;

Sorties: Ensemble des vacances.

pour j de 1 à K **faire**

pour i de 1 à N **faire**

VA_j reçoit le sommet de la couleur C_j tq $C_j \in$ à l'ensemble de couleur de ce sommet ;

si le sommet v (le vol) est contenue dans la vacation j **alors**

$x_{ij} = 1$; $\sum t_i x_{ij} \leq b_j$;

sinon

$x_{ij} = 0$;

finsi

fin pour

fin pour

Exemple d'application :

Dans la suite nous allons appliqué les deux heuristiques à l'exemple du chapitre précédent.

Les données :

- Planning des vols de 12 heures.
- Les dates de début et de fin de traitement des tâches de chaque type de vol calculés.
- Les demandes humaines de chaque tâche.

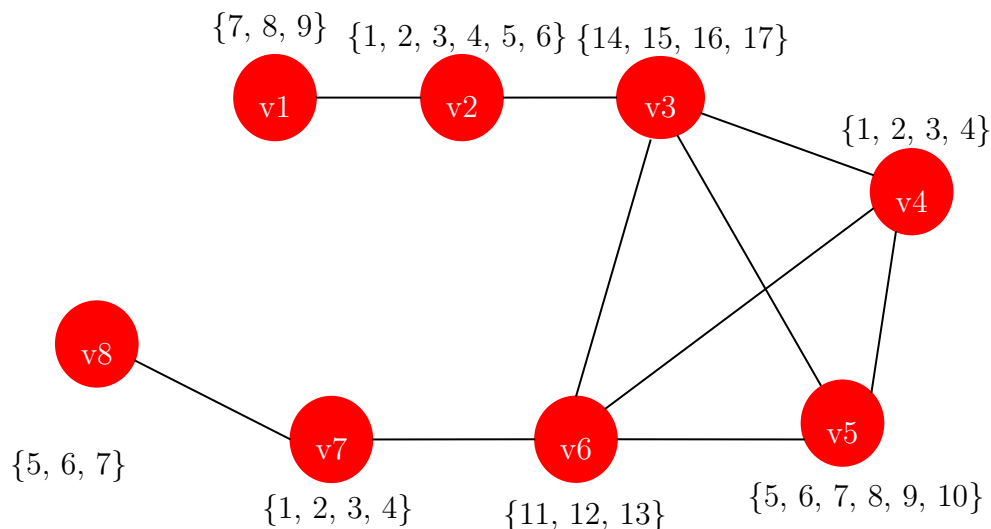
Les étapes de résolution :

Pour une tâche j choisie :

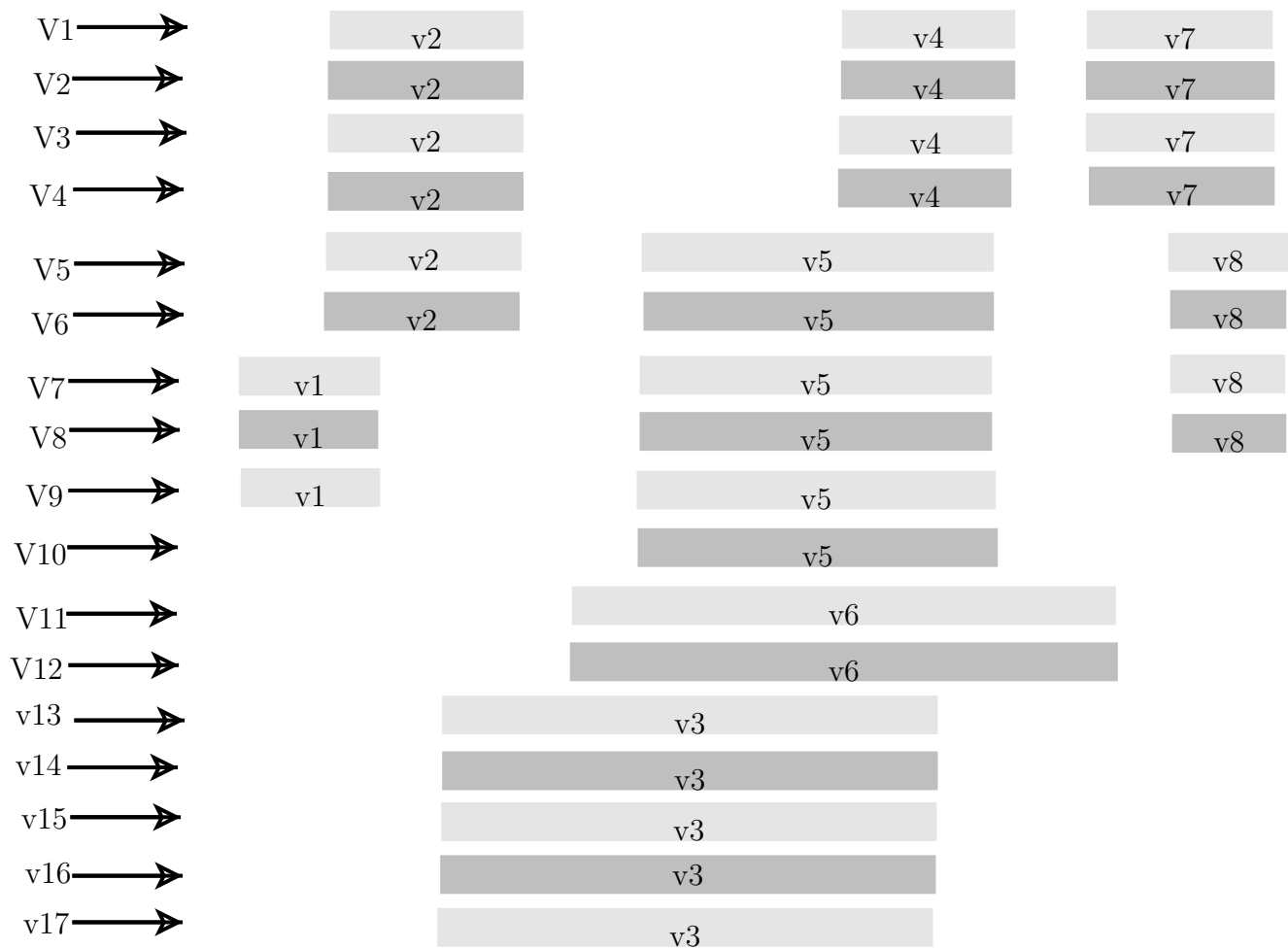
- ★ **Etape 1 :** La construction des intervalles de tâche j à partir de planning des vols.
- ★ **Etape 2 :** La construction de graphe d'intervalle $G = (V, E)$ à partir des intervalles de temps de traitement de la tâche j pour les vols durant les 12 heures.
- ★ **Etape 3 :** Attribuer les pondérations aux sommets du graphe G .
Pour chaque sommet v_i dans V , $v_i \leftarrow w(v_i)$. (La demande humains de la tâche j pour le vol_i).
- ★ **Etape 4 :** Appliquer l'heuristique 1 de multi-coloration au graphe pondéré (G, W) pour obtenir $v_i \leftarrow m(v_i)$.
- ★ **Etape 5 :** Appliquer l'heuristique 2 pour le graphe précédent pour créer les vacations.

Dans la suite nous allons appliqué ces étapes à l'exemple donner dans le chapitre précédent (Figure4.3).

- ★ Le choix de la tâche et l'application des trois première étapes ont été déjà présentée dans le chapitre précédent.
- ★ La quatrième étape, en appliquant la première heuristique à notre exemple, on obtient les ensembles des couleurs, comme nous montre le schéma suivant.



- ★ Appliquer la deuxième heuristique pour créer les vacations tel que $V1, \dots, V12$ sont les ensembles de vacations, et les sommets $v1, v2, v3, \dots, v8$ sont les intervalles de temps d'une tâche spécifiée pour un ensemble de vols.



Remarque Toutes les vacances ont la même durée qui est de 12 heures.

5.2.2 Le problème B

Malgré l'intérêt accordé au problème de création de vacances, peu de travaux ont été dédiés exclusivement au problème d'affectation de ces derniers aux personnels. Souvent, cette deuxième étape est traitée à la suite de la construction des vacances, qui est l'objectif de l'heuristique suivante :

Algorithme 4 : Affectation

Entrées: VA : ensemble des vacations crée ;Ensemble de personnels à affecter $i = \overline{1..n}$; VA_{ji} (la vacation j affecter au personnel i) ;**Sorties:** Une affectation des vacations aux personnels.**Début****tantque** $VA \neq \emptyset$ **faire**

Choisir la première vacation ;

Affecter la vacation choisi au personnel le plus disponible ;

 $VA := VA \setminus \{VA_{ji}\}$;**fin tantque**

5.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons utilisés des méthodes approchées (heuristique 1 et ensuite l'heuristique 2) afin de trouvée une solution approché de l'optimum de problème déjà posé. Nous passons à l'implémentation de cette méthode de résolution sur machine.

6

Implémentation

6.1 Introduction

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 un logiciel 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 Borland Delphi 7.

6.2 Qu'est-ce que Le Delphi ?

Le Delphi est un langage de programmation inspiré de Pascal, fondé sur les notions d'évènements et d'objets. Il permet de créer simplement de belles interfaces graphiques tout en disposant d'un puissant langage de programmation.

Delphi fournit tous les outils qui sont nécessaires pour développer, tester déboguer et déployer des applications incluant une importante bibliothèque de composants réutilisables, un ensemble d'outils de conception, des modèles d'application et de fiches, ainsi que des experts de programmation. Ces outils simplifient le prototype et réduisent la durée de développement.

L'un des principaux objectifs de son utilisation est de permettre la construction d'un logiciel ayant le maximum de qualité : la fiabilité, la convivialité et surtout l'efficacité, et ceci explique notre choix pour Delphi version 7.0 pour créer notre application.

Cette rapidité et cette simplicité de développement sont dues à une conception visuelle de l'application. Delphi propose un ensemble très complet de composants visuels prêts à l'emploi incluant la quasi-totalité des composants Windows (boutons, boîtes de dialogue, menus, barres d'outils. . .) ainsi que des experts permettant de créer facilement divers types d'applications et de librairies.

6.3 Présentation de l'application

Interface principale

Lors du lancement de notre logiciel, la fenêtre principale apparaît, portant un titre présentatif, ainsi que deux boutons :



FIGURE 6.1 – Fiche mot de passe

- Bouton **OK** : qui permet d'accéder à notre application si on a saisi le mot passe correct.
- Bouton **Quitter** : qui permet de quitter l'application.

Accès d'application

Taper le mot de passe nécessaire à la sécurité de l'application ensuite, cliquer sur le bouton **OK** pour valider l'entrée.

Si l'utilisateur s'est trompé lors de saisie de mot de passe ; un message s'apparaît :



FIGURE 6.2 – Fiche mot de passe incorrect

Gestion des données

Une fois le mot de passe introduit, on accède à la fenêtre suivante :

Les opérations au sol

Numéro d'opération:

Nom de la tâche:

Ressource humain:

DTG:

DeHG:

DeMG:

DTM:

DeHM:

DeMM:

DTP:

DeHP:

DeMP:

Num-tache	Nom-tache	RH	DTG	DeHG	DeMG	DTM	DeHM	DeMM	DTP	DeHP	Demp
1	Taa	Mécanicien	180	1	0	120	1	0	90	1	0
2	Tmp	Agent de servitude	180	2	6	120	1	6	90	1	4
3	Tdp	Agent d'escale	15	8	2	15	6	2	10	2	2
4	Tn	Agent de nettoyage	20	8	2	20	6	2	15	2	1
5	Tds	Manutentionnaire	25	6	9	25	4	7	10	3	3

Buttons: Insérer, Précédent, Suivant, Modifier, Supprimer, Annuler, Valider, Quitter

FIGURE 6.3 – Menu principale

Le menu principal comporte les trois onglets suivants :

- ★ Opérations.
- ★ planning de vol.
- ★ planning de vol 3.
- L'onglet "Opérations" : contient la base des données des opérations au sol, cette base contient des informations sensibles et importantes des différent opérations (tâches) à savoir : numéro de tâche, le nom tâche, type d'employé (RH), les durées de traitements dans chaque type d'avion (DTG, DTM, DTP), et la demande en personnel et en matériel (Deh et DeM).

Pour manipuler la base de données, des bouton sont disponibles tels que :

 - Pour Modifier une opération, on sélectionne le bouton 'Modifier'.
 - Pour Supprimer une opération, on sélectionne le bouton 'Supprimer'.
 - Pour insérer une opération, on sélectionne, le bouton 'Insérer' après ont introduit les données nécessaires, pour achever, on clique sur le bouton 'valider', ensuite en remarque qu'une nouvelle ligne est insérée.
 - Un bouton 'Quitter' pour sortir de l'application.
- Le deuxième onglet "planning de vol" contient la base de données de planning de vol, cette base contient des informations sur le vol tel quel :

numéro de vol (Num-vol), l'heure d'arrivée prévue (STA), aéroport d'escale (ARV), et le type d'avion (G{gros porteur}), M{moyen porteur}, P{petit porteur}).

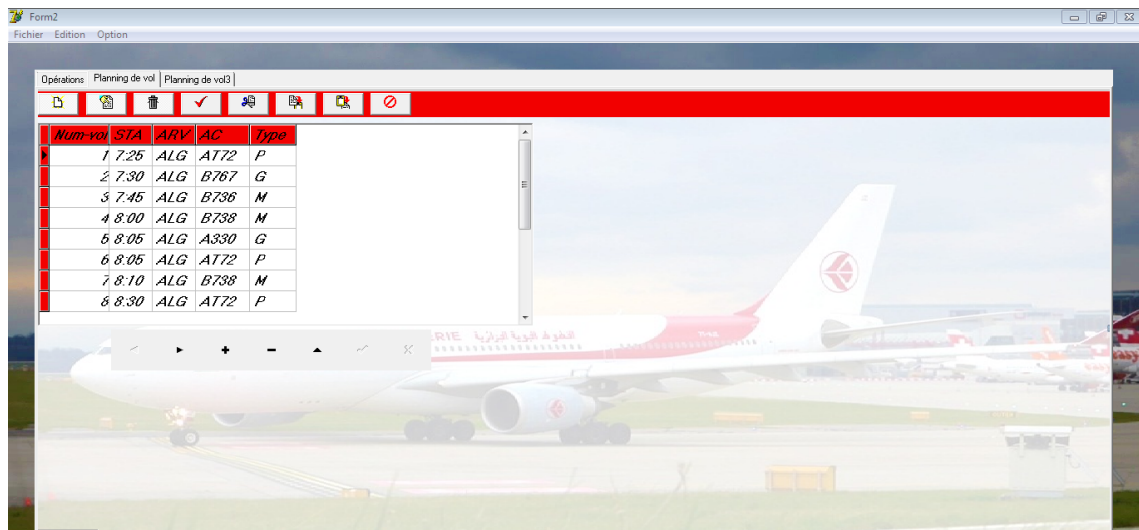


FIGURE 6.4 – Planning de vol

- Pour le troisième onglet planning de vol 3, il contient un seul bouton 'Exécuter'.

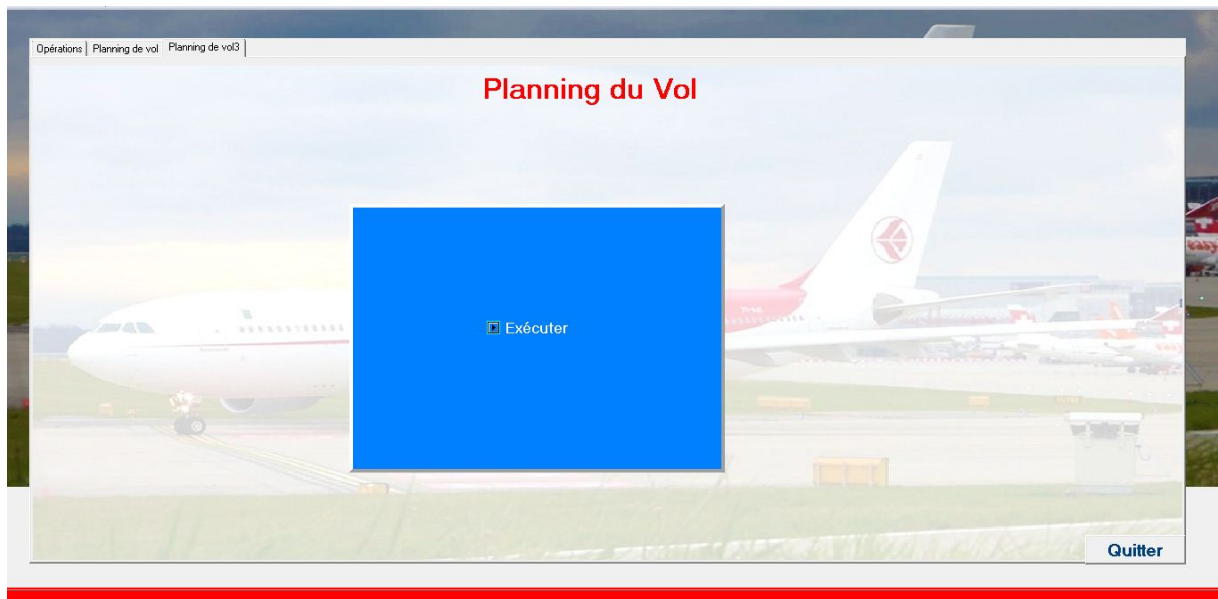


FIGURE 6.5 – Exécution

Exécution principale

Le bouton ' Exécution ' permet d'accéder à la fiche suivante :

Tâches

N°	Nom	DTG	DTM	DTP	DeHG	DeHM	DeHP	RH
1	Taa	03:00:00	02:00:00	01:30:00	1	1	1	Mécanicien
2	Tmp	03:00:00	02:00:00	01:30:00	2	1	1	Agent de servitude
3	Tdp	00:15:00	00:15:00	00:10:00	8	6	2	Agent d'escalade
4	Tn	00:20:00	00:20:00	00:15:00	8	6	2	Agent de nettoyage
5	Tds	00:25:00	00:25:00	00:10:00	6	4	3	Manutentionnaire
6	Tsp	03:00:00	02:00:00	01:00:00	1	1	1	Chef de file
7	Tep	03:00:00	02:00:00	01:00:00	3	2	2	Agent d'escalade
8	Tcoo	01:30:00	01:30:00	00:35:00	1	1	1	Coordonnateur
9	Tarb	03:00:00	02:00:00	01:30:00	2	2	1	Agent de tri des bagages
10	Tchs	00:30:00	00:25:00	00:20:00	5	3	2	Manutentionnaire
11	Tpb	00:10:00	00:10:00	00:10:00	2	2	1	Chauffeur tract

Tâche

Tds

Calcul

Vol	Equipe	Deb_tache	Fin_tache	P.Engagés	P.Libérés
-----	--------	-----------	-----------	-----------	-----------

vols

Choix	N° Vol	STA	ARV	AC	Type
	1	07:25:00	ALG	AT72	P
	2	07:30:00	ALG	B767	G
	3	07:45:00	ALG	B736	M
	4	08:00:00	ALG	B738	M
	5	08:05:00	ALG	A330	G
	6	08:05:00	ALG	AT72	P
	7	08:10:00	ALG	B738	M
	8	08:30:00	ALG	AT72	P
	9	09:00:00	ALG	AT72	P
	10	09:10:00	ALG	A330	G
	11	09:20:00	ALG	AT72	P
	12	09:55:00	ALG	AT72	P
	13	10:40:00	ALG	A330	G
	14	11:00:00	ALG	AT72	P
	15	11:55:00	ALG	B767	G
	16	12:10:00	ALG	AT72	P
	17	12:20:00	ALG	AT72	P
	18	12:40:00	ALG	A330	G
	19	12:40:00	ALG	A330	G
	20	12:45:00	ALG	B767	P
	21	12:45:00	ALG	B767	G

Choix des Vols

✓ Cocher tout

✗ Décocher tout

Tranche Horaire

De :

à :

Vols concernés

Finir

FIGURE 6.6 – Répartition des ressources humains

Nous expliquerons en détail les applications de ces trois champs : La fenêtre, au-dessus, se compose de trois champs :

- * Le premier champs est réservé au choix de la tâche.
- * Le deuxième pour le choix des vols.
- * Le dernier pour obtenir le nombre de personnes nécessaire pour une période donnée.

1. Le premier champ 'Tâches' ; on choisit la tâche considérée par un seul clique, comme il est montré dans la figure suivante par exemple on choisi la tâche **Tds** :

Tâches								
N°	Nom	DTG	DTM	DTP	DeHG	DeHM	DeHP	RH
1	Taa	03:00:00	02:00:00	01:30:00	1	1	1	1 Mécanicien
2	Tmp	03:00:00	02:00:00	01:30:00	2	1	1	1 Agent de servitude
3	Tdp	00:15:00	00:15:00	00:10:00	8	6	2	2 Agent d'escal
4	Tn	00:20:00	00:20:00	00:15:00	8	6	2	2 Agent de nettoyage
5	Tds	00:25:00	00:25:00	00:10:00	6	4	3	3 Manutentionnaire
6	Tsp	03:00:00	02:00:00	01:00:00	1	1	1	1 Chef de file
7	Tep	03:00:00	02:00:00	01:00:00	3	2	2	2 Agent d'escal
8	Tcoo	01:30:00	01:30:00	00:35:00	1	1	1	1 Coordonateur
9	Tsrb	03:00:00	02:00:00	01:30:00	2	2	1	1 Agent de tri des bagages
10	Tchs	00:30:00	00:25:00	00:20:00	5	3	2	2 Manutentionnaire
11	Tpb	00:10:00	00:10:00	00:10:00	2	2	1	1 Chauffeur tract

Vol	Equipe	Deb_tache	Fin_tache	P.Engagés	P.Libérés

Tâche
 Tds
 Calcul
 /
 /

FIGURE 6.7 – Choix de tache

2. Le deuxième champ ' vols ', est composé de trois boutons où :

Choix	N° Vol	STA	ARV	AC	Type
	2	07:30:00	ALG	B767	G
	3	07:45:00	ALG	B736	M
	4	08:00:00	ALG	B738	M
	5	08:05:00	ALG	A330	G
	6	08:05:00	ALG	AT72	P
	7	08:10:00	ALG	B738	M
	8	08:30:00	ALG	AT72	P
	9	09:00:00	ALG	AT72	P
	10	09:10:00	ALG	A330	G
	11	09:20:00	ALG	AT72	P
	12	09:55:00	ALG	AT72	P
	13	10:40:00	ALG	A330	G
	14	11:00:00	ALG	AT72	P
	15	11:55:00	ALG	B767	G
	16	12:10:00	ALG	AT72	P
	17	12:20:00	ALG	AT72	P
	18	12:40:00	ALG	A330	G
	19	12:40:00	ALG	A330	G
	20	12:45:00	ALG	B767	P
	21	12:45:00	ALG	B767	G
	22	12:45:00	ALG	B736	M

Choix des Vols

☒ **Cocher tout** ☐ **Décocher tout**

Tranche Horaire

De : : : à : : **Vols concernés**

FIGURE 6.8 – La partie de choix vols

- le bouton ' **Cocher tous** ' permet de sélectionner tous les vols de planning, et le bouton ' **Décoché tout** ' permet de désactiver la sélection, comme nous montre la photo suivante :

vols					
Choix	N° Vol	STA	ARV	AC	Type
✓	2	07:30:00	ALG	B767	G
✓	3	07:45:00	ALG	B736	M
✓	4	08:00:00	ALG	B738	M
✓	5	08:05:00	ALG	A330	G
✓	6	08:05:00	ALG	AT72	P
✓	7	08:10:00	ALG	B738	M
✓	8	08:30:00	ALG	AT72	P
✓	9	09:00:00	ALG	AT72	P
✓	10	09:10:00	ALG	A330	G
✓	11	09:20:00	ALG	AT72	P
✓	12	09:55:00	ALG	AT72	P
✓	13	10:40:00	ALG	A330	G
✓	14	11:00:00	ALG	AT72	P
✓	15	11:55:00	ALG	B767	G
✓	16	12:10:00	ALG	AT72	P
✓	17	12:20:00	ALG	AT72	P
✓	18	12:40:00	ALG	A330	G
✓	19	12:40:00	ALG	A330	G
✓	20	12:45:00	ALG	B767	P
✓	21	12:45:00	ALG	B767	G
✓	22	12:45:00	ALG	B736	M

Choix des Vols

Tranche Horaire

De : : : à : :

FIGURE 6.9 – Fonctionnalité de bouton coché

- On peut sélectionner les vols dans un intervalle de temps au choix par la saisie des extrémités de ce intervalle dans une case spécifiée, ensuite cliquer sur le bouton 'Vols concernés' pour valider le choix suivant :

Tâches

N°	Nose	DTG	DTM	DTP	DeHG	DeHM	DeHP	RH
1	Tss	03:00:00	02:00:00	01:30:00	1	1	1	Mécanicien
2	Tmp	03:00:00	02:00:00	01:30:00	2	1	1	Agent de servitude
3	Tdp	00:15:00	00:15:00	00:10:00	8	6	2	Agent d'escalade
4	Tn	00:20:00	00:20:00	00:15:00	8	6	2	Agent de nettoyage
5	Tds	00:25:00	00:25:00	00:10:00	6	4	3	Manutentionnaire
6	Tsp	03:00:00	02:00:00	01:00:00	1	1	1	Chef de file
7	Tep	03:00:00	02:00:00	01:00:00	3	2	2	Agent d'escalade
8	Tcoo	01:30:00	01:30:00	00:35:00	1	1	1	Coordonnateur
9	Tsb	03:00:00	02:00:00	01:30:00	2	2	1	Agent de tri des bagages
10	Tchs	00:30:00	00:25:00	00:20:00	5	3	2	Manutentionnaire
11	Tpb	00:10:00	00:10:00	00:10:00	2	2	1	Chauffeur tract

Tâche

Tds

Calcul

13

Manutentionnaires

Vol	Equipe	Deb_tache	Fin_tache	P.Engagés	P.Libérés
1	1	07:25:00	07:35:00	3	0
2	2	07:30:00	07:55:00	6	0
3	3	07:45:00	08:10:00	4	3
4	4	08:00:00	08:25:00	4	6
5	5	08:05:00	08:30:00	6	0
6	6	08:05:00	08:15:00	3	0
7	7	08:10:00	08:35:00	4	0
8	8	08:30:00	08:40:00	3	11
9	9	09:00:00	09:10:00	3	13

vols

Choix	N° Vol	STA	ARV	AC	Type
✓	2	07:30:00	ALG	B767	G
✓	3	07:45:00	ALG	B736	M
✓	4	08:00:00	ALG	B738	M
✓	5	08:05:00	ALG	A330	G
✓	6	08:05:00	ALG	AT72	P
✓	7	08:10:00	ALG	B738	M
✓	8	08:30:00	ALG	AT72	P
✓	9	09:00:00	ALG	AT72	P
	10	09:10:00	ALG	A330	G
	11	09:20:00	ALG	AT72	P
	12	09:55:00	ALG	AT72	P
	13	10:40:00	ALG	A330	G
	14	11:00:00	ALG	AT72	P
	15	11:55:00	ALG	B767	G
	16	12:10:00	ALG	AT72	P
	17	12:20:00	ALG	AT72	P
	18	12:40:00	ALG	A330	G
	19	12:40:00	ALG	A330	G
	20	12:45:00	ALG	B767	P
	21	12:45:00	ALG	B767	G
	22	12:45:00	ALG	B736	M

Choix des Vols

✓ Cocher tout

✗ Décocher tout

Tranche Horaire

De : 07:00 à 09:00

✚ Vols concernés

FIGURE 6.10 – Choix par intervalle de temps

- La dernière méthode de choix se fait manuellement, il suffit juste de faire un double clic dans la colonne 'Choix' pour sélectionner les vols séparément.

vols					
Choix	N° Vol	STA	ARV	AC	Type
✓	2	07:30:00	ALG	B767	G
	3	07:45:00	ALG	B736	M
✓	4	08:00:00	ALG	B738	M
	5	08:05:00	ALG	A330	G
✓	6	08:05:00	ALG	AT72	P
	7	08:10:00	ALG	B738	M
	8	08:30:00	ALG	AT72	P
✓	9	09:00:00	ALG	AT72	P
✓	10	09:10:00	ALG	A330	G
	11	09:20:00	ALG	AT72	P
	12	09:55:00	ALG	AT72	P
	13	10:40:00	ALG	A330	G
	14	11:00:00	ALG	AT72	P
✓	15	11:55:00	ALG	B767	G
	16	12:10:00	ALG	AT72	P
	17	12:20:00	ALG	AT72	P
	18	12:40:00	ALG	A330	G
	19	12:40:00	ALG	A330	G
	20	12:45:00	ALG	B767	P
	21	12:45:00	ALG	B767	G
✓	22	12:45:00	ALG	B736	M

Choix des Vols
☒ Cocher tout ☒ Décocher tout

Tranche Horaire
 De : : : à : :

FIGURE 6.11 – Choix manuellement

- Une fois la tâche est choisie et les vols concerné sont sélectionné alors le troixième champs est consacré pour le calcul de nombre minimum de personnels pour ces choix.

Exemple : la tâche choisi est Tds, et les vols concernnés sont entre l'intervalle de temps de 07 :00 à 09 :00 (9 vols), le résultat obtenu par le champ de calcule est montré dans la figure suivante :

Tâches										vols					
N°	Nom	DTG	DTM	DIP	DeHG	DeHM	DeHP	RH		Choix	N° Vol	STA	ARV	AC	Type
1	Tas	03:00:00	02:00:00	01:30:00		1		1	Mécanicien	☒	1	07:25:00	ALG	AT72	P
2	Tmp	03:00:00	02:00:00	01:30:00		2		1	Agent de servitude	☒	2	07:30:00	ALG	B767	G
3	Tdp	00:15:00	00:15:00	00:10:00		8		6	2 Agent d'escal	☒	3	07:45:00	ALG	B736	M
4	Tn	00:20:00	00:20:00	00:15:00		8		6	2 Agent de nettoyage	☒	4	08:00:00	ALG	B738	M
5	Tds	00:25:00	00:25:00	00:10:00		6		4	3 Manutentionnaire	☒	5	08:05:00	ALG	A330	G
6	Tsp	03:00:00	02:00:00	01:00:00		1		1	1 Chef de file	☒	6	08:05:00	ALG	AT72	P
7	Tep	03:00:00	02:00:00	01:00:00		3		2	2 Agent d'escal	☒	7	08:10:00	ALG	B738	M
8	Tcoo	01:30:00	01:30:00	00:35:00		1		1	1 Coordonnateur	☒	8	08:30:00	ALG	AT72	P
9	Tsb	03:00:00	02:00:00	01:30:00		2		2	1 Agent de tri des bagages	☒	9	09:00:00	ALG	AT72	P
10	Tchs	00:30:00	00:25:00	00:20:00		5		3	2 Manutentionnaire	☒	10	09:10:00	ALG	A330	G
11	Tpb	00:10:00	00:10:00	00:10:00		2		2	1 Chauffeur taxi	☒	11	09:20:00	ALG	AT72	P

Vol	Equipe	Deb_tache	Fin_tache	P.Engagés	P.Libérés
1	1	07:25:00	07:35:00	3	0
2	2	07:30:00	07:55:00	6	0
3	3	07:45:00	08:10:00	4	3
4	4	08:00:00	08:25:00	4	6
5	5	08:05:00	08:30:00	6	0
6	6	08:05:00	08:15:00	3	0
7	7	08:10:00	08:35:00	4	0
8	8	08:30:00	08:40:00	3	11
22	9	12:45:00	13:10:00	4	13

Choix des Vols	Tranche Horaire
☒ Cocher tout	De : à
☒ Décocher tout	☒ Vols concernés

FIGURE 6.12 – Exemple appliqué

La figure au-dessus représente le résultat obtenu à partir des choix précédents.

Conclusion générale

En guise de conclusion, il serait pertinent de mettre en question :

Avons-nous 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 et matérielles) semble avoir un enjeu très important aux seins d'une entreprise surtout pour une compagnie aérienne telle que Air Algérie, où existe une gestion complexe des activités nécessitant une meilleur organisation du travail.

Dans le présent travail nous avons proposé une modélisation mathématique basée sur la théorie des graphes. Enfin le modèle établis et vu la complexité du problème qui appartient à la classe des problème NP-difficile nous avons opté pour l'utilisation des heuristiques dans le but de gagner en complexité et en temps de calcule.

Le travail développé durant la préparation de ce mémoire, nous a permis de mettre en oeuvre les connaissances théoriques acquises le long de notre parcours universitaire.

L'implémentation utilisant l'environnement Delphi 7, 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 manoeuvre 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.

Annexe A

Introduction

La recherche opérationnelle peut être vue comme appel à des méthodes et techniques mathématiques pour résoudre des problèmes complexes rencontrés dans la direction et la gestion de grands systèmes. De ce fait, beaucoup d'entreprises s'intéressent à cette discipline, dont le but est d'aider les directions à déterminer une politique de gestion de manière scientifique et rationnelle.

Qu'est-ce qu'un problème d'optimisation ?

Un problème d'optimisation se définit comme la recherche du minimum ou du maximum d'une fonction donnée. On peut aussi trouver des problèmes d'optimisation pour lesquels les variables de la fonction à optimiser sont contraintes d'évoluer dans une certaine partie de l'espace de recherche. Dans ce cas, on a une forme particulière de ce que l'on appelle un problème d'optimisation sous contraintes. Ce besoin d'optimisation vient de la nécessité de l'ingénieur de fournir à l'utilisateur un système qui réponde au mieux au cahier des charges.

Optimisation combinatoire

L'optimisation combinatoire occupe une place très importante en Recherche Opérationnelle, en mathématiques discrètes et en informatique. Son importance se justifie d'une part, par la grande difficulté des problèmes d'optimisation et d'autre part, 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 donc pas à ce jour, de solution algorithmique efficace valable pour toutes les données.

Méthode de résolution des problèmes d'optimisation combinatoire

Il existe deux grandes familles de méthodes de résolution :

1-Les méthodes exactes

Sont des méthodes complètes qui garantissent la complétude de la résolution, elles sont soutenues par la théorie, aboutissent aux solutions optimales du problème. En pratique, les méthodes exactes sont sensiblement liées à la taille du problème et leur utilisation est sanctionnée par des

temps d'exécution souvent inacceptables. Cette méthode va rechercher l'optimum global. Pour cela, elle effectue, général, une énumération des solutions de l'espace de recherche.

2-Les méthodes approchée

Sont des heuristiques, méta-heuristiques incomplètes qui perdant en complétude pour gagner en efficacité. Elles peuvent aboutir à des résultats très satisfaisants en des temps plus raisonnables.

1. **Heuristiques :** En optimisation combinatoire, une heuristique est un algorithme approché qui permet d'identifier en temps polynomial au moins une solution réalisable rapide, pas obligatoirement optimale. L'usage d'une heuristique est efficace pour calculer une solution approchée d'un problème. Généralement une heuristique est conçue pour un problème bien précis, pour ce faire :
 - Une bonne compréhension du problème à résoudre est impérative.
 - Le modèle associé peut être utilisé.
 - L'expérience et le bon sens jouent un rôle primordial.
 - Tenir compte de la fonction à optimiser, dans la mesure du possible. Il existe deux types des heuristiques.
2. **Méta-heuristiques :** Sont des stratégies qui permettent de guider la recherche d'une solution optimale. Les concepts de base des méta-heuristiques peuvent être décrits de manière abstraite, sans faire appel à un problème spécifique. Elles sont classées en deux groupes :
 - A-** Les méta-heuristiques à solution unique :

Sont toutes basées sur un algorithme de recherche de voisinage qui commence avec une solution initiale, puis l'améliore pas à pas en choisissent une nouvelle solution dans son voisinage. Nous avons comme exemple : les méthodes de descente (Hill Climbing), le recuit simulé(Simulated Annealing)et la recherche tabou(Tabou Search).
 - B-** Les méta-heuristique à population de solutions :

Elles améliorent, au fur et à mesure des itérations, une population comme facteur de diversité. Nous avons comme exemple : la recherche par dispersion (Scatter Search), les algorithmes génétiques (Genetic Algorithms), la programmation génétique (genetic programming) et les colonies de fourmis (Ants System).

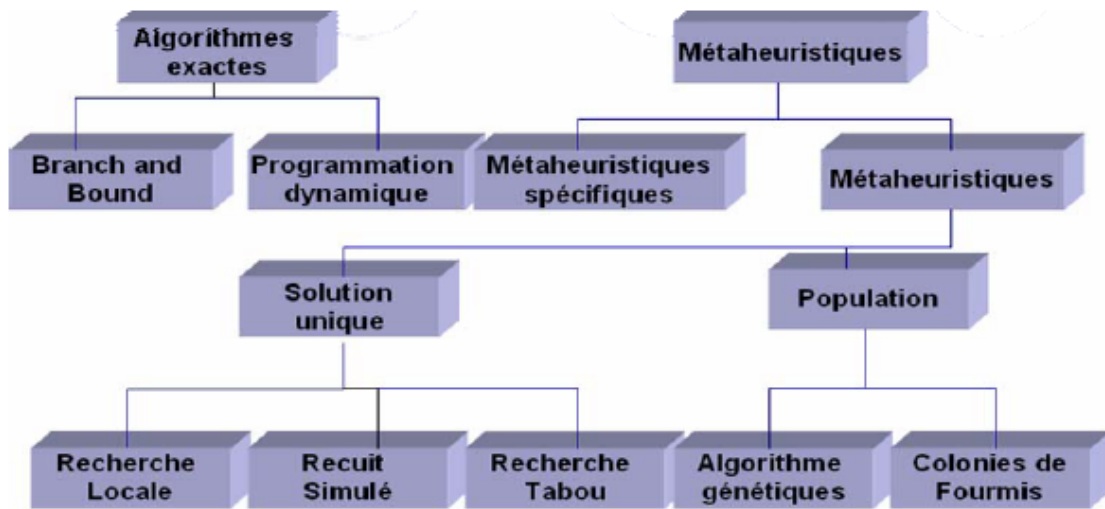


FIGURE 6.13 – Classification des méthodes de résolution des Problèmes d'OC

Les problèmes les plus célèbres de l'optimisation combinatoire sont :

A- Les problèmes modélisés par des graphes :

- **Le problème du plus court chemin** : dans un graphe non orienté pondéré, trouver le plus court chemin du sommet i au sommet j . Pour une bonne solution on le résout par l'algorithme Ford-Dijkstra.
- **Problème de coloration minimale** : ce problème est déjà cité dans le troisième chapitre.
- **Problème du voyageur de commerce** : parcourir n villes en passant une seule fois par chaque ville, et en minimisant la distance parcourue. On le résout par la recherche d'un Cycle hamiltonien dans un graphe complet, pondéré, de coût minimal. Ce problème est NP-Complet.

B- Des problèmes non modélisés par des graphes :

- **Problème du sac à dos** : Un sac à dos de capacité C , et n objets de poids $p_1, p_2, \dots, p_n$, et de profit $c_1, c_2, \dots, c_n$. Trouver un ensemble d'objets de poids total $\leq C$ de profit total maximal.
- **Problème de satisfaisabilité** : Donnée un ensemble $X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ de variables booléennes et une expression booléenne en terme d'ensemble des clauses,

$$E = C_1 \wedge C_2 \wedge \dots \wedge C_m,$$

où chaque 'clause', $c_i (i=1, 2, \dots, m)$ est une expression $c_i = u_{j1} \wedge u_{j2} \wedge \dots \wedge u_{jk_i}$, et où chaque u_{jk} est une variable de X , complémentée ou pas. Le problème consiste à chercher s'il existe une affectation des variables x_k pour $k=1, 2, \dots, n$ à 0 ou 1 telle que $E=1$.

La complexité des problèmes

L'expérience montre que certains problèmes sont plus faciles que d'autres à résoudre sur un ordinateur. Une théorie de la complexité a été développée et permet mathématiquement de classer les problèmes faciles et difficiles en deux classes : la classe **P** et la classe **NP**. Nous exposons dans ce qui suit, les grandes principes de la théorie de la complexité des problèmes.

Les classes **P** et **NP**

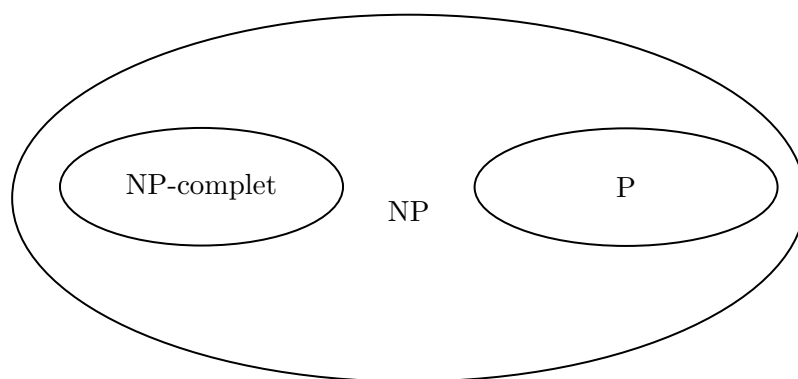
La classe **P** (Polynomial) qui regroupe les problèmes de décision résolus par des algorithmes polynomiaux.

Un algorithme polynomial est défini comme un algorithme dont le temps d'exécution est borné par $O(p(x))$ où p est un polynôme et x est la longueur d'entrée (c.à.d. le nombre de données) d'une instance du problème.

La classe **NP** (Non deterministic Polynomial) regroupe les problèmes qui peuvent être résolus en temps polynomial par des algorithmes non déterministes (un algorithme est dit non déterministe s'il comporte des instructions de choix).

Pour ces algorithmes, si à chaque instruction, le bon choix est effectué, le temps de calcul est polynomial. Si au contraire tous les choix sont énumérés, l'algorithme devient déterministe et son temps de calcul devient exponentiel. De façon informelle, un problème de décision appartient à **NP**, si on peut vérifier en un temps polynomial si une solution 'potentielle' donnée satisfait la question posée.

Les algorithmes polynomiaux sont évidemment des cas particuliers des algorithmes non déterministes. Aussi, tout problème de décision qui peut être résolu par un algorithme polynomial, et qui appartient à la classe **P**, appartient également à la classe **NP**. D'où $P \subseteq NP$. On dit qu'un problème de décision est **NP-complet** si tout problème de la classe **NP** se transforme en polynomiale à lui. Notons qu'il existe des problèmes dans **NP** qui ne sont pas dans **P** et qui, vraisemblablement, ne seront pas dans la classe **NPC** (pour dire **NP-complet**). Le concept central relié à la définition de la **NP-complétude** est celui de la réduction entre problèmes.



Annexe B

Nous présenterons quelques termes propres au domaine aéronautique.

Vol

élément unitaire et indivisible du programme, il est défini par les 6 données suivantes :

- Type d'avion.
- Escale de départ.
- Heure de départ.
- Escale d'arrivée.
- Heure d'arrivée.
- Numéro de vol.

Définition du programme de vol d'une compagnie aérienne

Un programme de vol est une prévision de mise en œuvre des moyens volants nécessaires pour de satisfaire la demande de trafic dans une saison donnée, il rassemble toutes les caractéristiques essentielles de produit. Autrement dit, il est défini par le nombre de sièges sur une relation donnée, un jour donné, à une heure donnée sur un type d'appareil donné. Il est au centre et à l'origine d'autres programmes de soutien qui se rapportent à un personnel navigant technique et commerciale, maintenance.

la flotte :

Ensemble des appareils dont dispose une compagnie aérienne, elle constitue son outil principal de la production de service.

Temps d'escale :

Temps nécessaire pour l'embarquement et/ou le débarquement des passagers et de leurs bagages et pour le traitement de l'avion (nettoyage, avitaillement, catering,...etc.). Le temps de traitement diffère d'un avion à un autre.

Handling :

Egalement appelé 'assistance aéroportuaire', consiste en la prise en charge des opérations d'assurances au sol des passagers et des avions entre l'heure d'arrivée à l'aérogare et l'heure de départ.

Auto-assistance :

il s'agit de la possibilité pour les compagnies aériennes de se fournir à elles-mêmes les services d'assistance en escale dans les aéroports dont le trafic annuel est supérieur ou égal à 1 million de passagers ou 25 000 tonnes de fret. Toutefois, pour quatre catégories de services (assistance "bagages", assistance "opérations en piste", assistance "carburant et huile", assistance "fret et poste").

Les tableaux suivants résument les tâches avec ses besoins matériels et humains pour les trois catégories d'avion.

Pour le gros porteur G.

Les Tâches	Ressources humaines	Ressources matérielles
Assistance arrivé (Taa)	1 Mécanicien	/
Mise en place des matériels (Tmp)	2 Agent de servitude	- 4 Cales - 1 GPU - 1 ASU
Transport des passagers (Tdp)	4 Agent d'escale	- 3 Bus de grand capacity - 1 Mini bus
Nettoyage (Tn)	6 Agents de nettoyage	- 2 Aspirateurs
Déchargement des soutes (Tds)	6 Manutentionnaire	- 8 ChariotS - 1 Tapis roulant.
Supervision passagers(Tsp)	1 Chef de file	- Equipements DCS
Enregistrement des passagers(Tep)	3 Agents d'escale	- Equipements DCS
Coordination des vols (Tcoo)	1 Coordonnateur	- 1 Véhicule de liaison Radio VHF
Contrôle,tri des bagages(Tsrb)	2 Agent de tri des Bagages.	- 2 Chariot bagage
Chargement des soutes (Tchs)	5 manutentionnaire	- 8 Chariot - 1 Tapis roulant.
Transporter les bagages (Tpb)	2 chauffeur.tract	-2 chariot ,tracteur

Pour le moyen porteur M.

Les Tâches	Ressources humaines	Ressources matérielles
Assistance arrivé (Taa)	1 Mécanicien	/
Mise en place des matériels (Tmp)	1 Agent de servitude	- 4 Cales - 1 GPU - 1 ASU
Transport des passagers (Tdp)	3 Agent d'escale	- 2 Bus de grand capacity - 1 Mini bus
Nettoyage (Tn)	6 Agent de nettoyage	- 2 Aspirateur
Déchargement des soutes (Tds)	4 Manutentionnaire	- 6 Chariot - 1 Tapis roulant.
Supervision passagers(Tsp)	1 Chef de file	- 1 Equipements DCS
Enregistrement des passagers(Tep)	2 Agents d'escale	- Equipements DCS
Coordination des vols (Tcoo)	1 Coordonnateur	- 1 Véhicule de liaison Radio VHF
Contrôle,tri des bagages(Tsrb)	2 Agent de tri des Bagages.	- 2 Chariot bagage
Chargement des soutes (Tchs)	3 manutentionnaire	- 6 Chariot - 1 Tapis roulant.
Transporter les bagages (Tpb)	2 chauffeur.tract	-2 tracteurs

Pour le petit proteur P.

Les Tâches	Ressources humaines	Ressources matérielles
Assistance arrivé (Taa)	1 Mécanicien	/
Mise en place des matériels (Tmp)	1 Agent de servitude	- 2 Cales - 1 GPU -1 ASU
Transport des passagers (Tdp)	1 Agent d'escale	- 1 Bus de moyen capacity
Nettoyage (Tn)	2 Agents de nettoyage	- 2 Aspirateur
Déchargement des soutes (Tds)	3 Manutentionnaire	- 2 Chariot - 1 Tapis roulant.
Supervision passagers(Tsp)	1 Chef de file	- 1 Equipements DCS
Enregistrement des passagers(Tep)	2 Agent d'escale	- 1 Equipements DCS
Coordination des vols (Tcoo)	1 Coordonnateur	- 1 Véhicule de liaison Radio VHF
Contrôle,tri des bagages(Tsrb)	1 Agent de tri des Bagages.	- 2 Chariot bagage
Chargement des soutes (Tchs)	2 manutentionnaire	- 2 Chariot - 1 Tapis roulant.
Transporter les bagages (Tpb)	1 chauffeur.tract	1 tracteur

On présente des algorithmes concernant la connaissance des graphes triangulé et ses algorithmes de coloration.

Algorithmes permettant de déterminer si un graphe $G=(V,E)$ est triangulé

Algorithme de Fulkerson et Gross (1969)

1. Poser $G'=G$;
2. Si G' est vide alors G est triangulé : STOP ;
3. Si G' ne contient pas de sommet simplicial alors G n'est pas triangulé ;
4. ôter un sommet simplicial de G' et retourner à (2) ;

Algorithme de Tarjan (1976)

1. Poser $N := \emptyset$ et $W := X$;
2. Si $W = \emptyset$ alors STOP : G est triangulé ;
3. Choisir le sommet x de W ayant le plus de voisins dans N ;
4. Si les voisins de x dans N ne forment pas une clique alors STOP : G n'est pas triangulé ;
5. Rajouter x dans N , le retirer de W , et retourner à (2) ;

Algorithme de coloration d'un graphe triangulé

1. Déterminer un schéma d'élimination parfait $x_1 < \dots < x_{|X|}$.
2. Colorer G séquentiellement selon l'ordre inverse $x_{|X|} < \dots < x_1$.

Bibliographie

- [1] A.DURET-LUTZ, Théorie des graphes , Mars 2012.
- [2] A.PATOUCHE, Planification d’horaires de travail, Thèse de Doctorat Université Paris-Dauphine, 1998.
- [3] A.ZOBIRI et L.MAZOUZI, Modèle de maximisation des connexions à l’escale d’Alger, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène, Avril 2010.
- [4] B.EESCFFIER, Approximation polynomiale de problèmes d’optimisation : aspects structuraux et opérationnels, Thèse de doctorat informatique , Université Paris IX, Novembre 2005.
- [5] B.LEVEQUEL , Coloration de graphe : structure et algorithmes, Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier , 15 Novembre 2007.
- [6] C.DRAGHICHI, Modélisation et Conception d’algorithmes pour la planification automatique du personnel de compagnies aériennes, Automatique / Robotique. INSA de Toulouse, 2005.
- [7] C.MANCEL, Modélisation et résolution de problème d’optimisation combinatoire issus d’applications spatiales, INSA de Toulouse, 2004.
- [8] C. MCDIRMIID and B.REED, Channel assignment and weighted coloring, Networks, 36(2) :114–117, 2000.
- [9] D.BELKACEM et C.CHEHIIH, Gestion des spectres de fréquence d’un réseau super wifi, Mémoire de master de USTHB, Février 2010.
- [10] D.BRONNER, Coloration suboptimales , Travail pratique de master , Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne 2004-2005.
- [11] D.MULLER, Introduction à la théorie des graphes.
- [12] F.GARDI, Planification d’horaires de travail et théorie des graphes, Laboratoire d’Informatique Fondamentale, France.
- [13] I.BENRABLA et I.LARBI, Planning et optimisation de la gestion des formations du personnel navigant technique, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène, 2014.
- [14] J.GIRESSE et Z.EBANG , La gestion des risques liés aux factures humains dans l’assistance aéroportuaire, 2010-2011.
- [15] J.ROSE et R. TARJAN, S. LUEKER, Algorithmic Aspects of Vertex Elimination on Graphs Donald, juin 1976.
- [16] K.SGHIOUER, C.LUCETt, A.MOUKRIM, Somme coloration de graphe, Mai 2010.
- [17] L. NARAYANAN and S.M.SHENDE, Static frequency assignment in cellular networks, Algorithmica, 29(3) :396–409, 2001.
- [18] M.ADAM, Conception d’une manière optimale d’un programme d’exploitation aérien, appliquée à la Compagnie nationale Air Algérie, juin 2010

- [19] M.BENNOUR et D.CRESTANI et O.CRESPO , Evaluation d'une approche d'affectation des ressources humains aux processus d'entreprise, 5ème conférence francophone en modélisation et simulation , 2004.
 - [20] M.BENNOUR et D.CRESTANI et O.CRESPO , Une méthode d'affectation des ressources humains aux processus industriels , Journal Européen des Systèmes Automatisés , Hermès, 2008.
 - [21] M.NIVAT, Lex-BFS and partition refinement, with application to transitive orientation, interval graph recognition and consecutive ones testing, septembre 1997.
 - [22] M.SAKAROVITCH , Optimisation Combinatoire,HERMANN.
 - [23] M.TAFLIS, Quelques sous-classes des graphes B1-orietables. Université mouloud mammri de Tizi-Ouzou, faculté des sciences département de mathématique, Septembre 2005.
 - [24] O.TOGNI, Coloration de graphe : quelques contributions, Université de Bourgogne, 13 décembre 2006.
 - [25] S.MHUJARI et D.DAMIA, La planification des congés du personnel navigant d'Air Algérie, 2015.
- Site internet**
- [26] www.memoireonline.com
 - [27] www.airfleets.fr