



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de
la Recherche Scientifique
Université Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi
Bordj Bou Arréridj
Faculté des mathématiques et de
l'informatique
Département de Recherche Opérationnelle



N° ordre.....

Mémoire de Master

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master en :

Domaine : Mathématiques et Informatique.

Filière : Mathématiques.

Spécialité : Méthodes et outils pour la recherche opérationnelle.

*Modélisation mathématique et optimisation du
problème de planification de l'emploi du temps.*

Présenté par :

- Assas Ichraq
- Sakhraoui Hiba

Soutenu publiquement le 20/06/2024 devant le jury composé de :

M.Maache Saleh	Université de BBA	Président
M.Saha Adel	Université de BBA	Examineur
M.FILALI FERHAT	Université de BBA	Encadreur

Année Universitaire

2023/2024

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions le grand Dieu de nous avoir donné force, courage et volonté, et de patience pour mener à bien ce travail commémoratif.

Nous tenons également à exprimer notre promoteur, **M.FILALI FERHAT**, pour ses précieux conseils, sa supervision et son encadrement tout au long de ce projet.

Nous tenons aussi à remercier les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

Nous aimerions par ailleurs remercier tous les membres du corps enseignant de la faculté de mathématiques et d'informatique, tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui, par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques, ont guidé nos réflexions et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant nos recherches. Nous remercions en particulier **M. Hazat Abd el Razzaq** pour son soutien continu tout au long de nos études.

Enfin, nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à ce travail, avec une mention spéciale pour notre chère famille.

Merci à tous

Dédicaces de ICHRAQ

..... Rien n'est plus gratifiant que de pouvoir partager les moments les plus précieux de ma vie avec les personnes que j'aime. C'est pourquoi je Dédie ce travail de tout mon cœur :

A ma première défaite dans la vie et ma plus grande perte... **A mon père**, qui n'a pas pu finir le chemin avec moi et est parti avant de voir le fruit de son labeur... Que Dieu ait ton âme et te récompense pour tout le bien que tu as fait pour moi.

A ma première enseignante, mon inspiration et mon amour. À celle qui a implanté en mon âme les plus hautes valeurs morales, **ma chère mère**. Que Dieu te donne une longue vie en bonne santé

À ceux que j'ai été béni d'avoir comme soutien :

A mes chers frères, **Bilal** et **Yaakoub**, pour leur soutien et leurs encouragements.

A mes chères sœurs, **Hind** et **Mouna** pour leur soutien, leur encouragement et leur amitié.

A mon amie de toujours, ma compagne à chaque étape de ma vie, ma chère amie **Maissoun**.

A ma chère amie avant d'être mon binôme **Hiba**, Je te suis reconnaissante d'avoir été un binôme exceptionnel.

A mes meilleures amies **Houda**, **Hadjer**, **Rania**, **Fatima**, **Amira**, **karima**, **Aicha** et **Ayacha**, pour votre amitié indéfectible et votre soutien tout au long de ce chemin.

Dédicaces de HIBA

Je dédie ce mémoire à ceux qui ont été mes piliers tout au long de cette aventure.

A ma mère, dont l'amour inconditionnel, le soutien et les encouragements ont été ma principale source de motivation. Votre force et votre dévouement sont des exemples constants pour moi. Merci d'avoir cru en moi et de m'avoir encouragé à poursuivre mes rêves.

A mon père, dont la sagesse, l'intégrité et les conseils avisés ont toujours été une boussole dans ma vie. Votre présence bienveillante et votre soutien indéfectible m'ont permis de dépasser mes limites. Je vous suis profondément reconnaissant pour toutes les leçons de vie que vous m'avez enseignées.

A mes frères, **Ilyes** et **Anis**, qui ont toujours été à mes côtés, partageant mes moments de joie comme mes moments difficiles. Votre amitié et votre soutien inconditionnel sont des cadeaux précieux dans ma vie.

A ma sœur **Hadjer**, pour son amour, son soutien et sa complicité. Vos encouragements et votre présence ont rendu ce parcours de recherche plus agréable et significatif. Merci d'avoir été mon alliée et ma confidente.

A mon amie qui est comme une sœur, **Nassima Chakri**, merci pour votre amour et votre soutien.

A À mes meilleures amies **Youssra**, **Hadjer**, **Houda**, **Rania**, **fatima**, **karima** et **Amira**, pour votre amitié indéfectible et votre soutien tout au long de ce chemin.

Enfin, à ma merveilleuse binôme **Ishraq Assas**, qui a partagé ce travail avec moi, et à sa famille pour leur soutien.

Table des matières

Introduction générale	2
1 OPTIMISATION DANS LE CADRE DE LA PLANIFICATION ET DE L'ORDONNANCEMENT	4
Introduction	4
1.1 La recherche opérationnelle :	4
1.2 la planification :	6
1.2.1 Techniques de planification :	6
1.2.2 Différents types de plannings :	7
1.2.3 Domaines d'applications de planning :	8
1.3 L'ordonnancement :	10
1.4 Les solveurs :	10
2 ÉTAT DE L'ART	12
2.1 Le problème d'emploi du temps :	12
2.1.1 Problème d'emploi du temps universitaire :	13
2.1.2 Le rôle d'un emploi du temps :	13
2.1.3 Les ressources :	13
2.2 Les méthodes de résolution :	14
2.2.1 Méthodes basées sur les méta-heuristiques :	15
2.2.2 Méthode basée sur la théorie des graphes (la coloration) :	19
2.2.3 Méthode à base de la programmation linéaire :	21
3 ÉTUDE ET MODÉLISATION DU PROBLÈME	24
3.1 Présentation de la faculté :	25
3.2 Description du problème à résoudre :	26
3.2.1 Types des contraintes :	26
3.3 La modélisation mathématique :	27
3.3.1 Les indices :	27
3.3.2 Les Paramètres :	27
3.3.3 Les variables :	30
3.3.4 Les contraintes :	30
3.3.5 La fonction Objectif :	32

4	IMPLÉMENTATION ET RÉSULTATS	34
4.1	Solver d'optimisation :	34
4.1.1	Le langage :	35
4.2	Description de notre logiciel :	35
4.2.1	Structure de base d'un modèle Mosel :	35
4.2.2	Structures de données :	37
4.2.3	Résolution et visualisation de la solution :	38
4.3	Implémentation de L'instance 1 :	39
4.4	Implémentation de L'instance 2 :	43
	Conclusion générale	52
	Bibliographie	
	Bibliographie	2

Liste des figures

1.1	composantes de la recherche opérationnelle[21].	5
1.2	Les différentes phases de la modélisation mathématique[22].	5
1.3	les caractéristiques de la planification[25].	6
1.4	Créer un planning structuré[15].	7
1.5	Un modèle de planification de l'emploi du temps[14].	8
2.1	Classement des méthodes de résolution[9].	14
2.2	Processus de l'algorithme d'optimisation des colonies de fourmis[16].	15
2.3	Les étapes de fonctionnement d'un algorithme génétique[4]	17
2.4	Représentation de problème de l'emploi du temps par la méthode de coloration de graphe (de Werra 1985)[28].	21
3.1	Formation assurées dans la faculté des mathématiques et d'informatique[29].	25
4.1	déclaration des ensembles et des paramètres[30].	35
4.2	déclaration des variables de décision[30].	35
4.3	Définition de la fonction objectif.	36
4.4	Déclaration des variables de décision.	36
4.5	Syntaxe des commentaires.	36
4.6	Les instructions "forall"[30].	36
4.7	Opérateurs arithmétiques[34]	37
4.8	Opérateurs logiques[34].	37
4.9	Définir les expressions[30].	37
4.10	Affichage des entités.	39
4.11	L'emploi du temps pour l'instance 1.	43
4.12	L'emploi du temps pour la section 1.	47

Liste des tableaux

2.1	Tableau récapitulatif des travaux effectués dans Les colonies de fourmis	16
2.2	Tableau récapitulatif des travaux effectués dans les algorithmes génétiques.	18
2.3	Tableau récapitulatif des travaux effectués dans la recherche taboue.	19
2.4	Tableau récapitulatif des travaux effectués dans la théorie des graphes.	20
2.5	Tableau récapitulatif des travaux effectués dans la programmation linéaire.	22
3.1	Tableau repr ésentatif de créneaux de la semaine.	28
3.2	Les séances et les enseignants disponibles pour chaque matière.	29
3.3	Les séances et les enseignants disponibles pour chaque matière	32
4.1	imprime l'emploi du temps de classe 1.	42
4.2	imprime l'emploi du temps de classe 1.	42
4.3	imprime l'emploi du temps de classe 1.	45
4.4	imprime l'emploi du temps de classe 2.	45
4.5	imprime l'emploi du temps de classe 3.	46
4.6	imprime l'emploi du temps de classe 4.	46
4.7	imprime l'emploi du temps de classe 5.	46
4.8	imprime l'emploi du temps de classe 6.	46
4.9	imprime l'emploi du temps de classe 7.	47

Introduction générale

L'organisation efficace des emplois du temps revêt une importance capitale dans de multiples secteurs, allant des écoles aux entreprises. Un emploi du temps bien organisé favorise une utilisation optimale des ressources, réduit les conflits d'horaire et améliore la satisfaction des participants. Toutefois, la mise en place d'un emploi du temps optimal est un défi complexe qui implique la prise en considération de nombreuses contraintes et variables.

Dans les établissements scolaires, par exemple, l'objectif est de garantir la disponibilité des enseignants, des salles de classe et des étudiants aux moments nécessaires. Les contraintes comprennent les préférences des professeurs, la capacité des salles, les durées des cours, les temps de pause, etc. Avec la taille de l'institution et le nombre de contraintes, la complexité augmente de manière exponentielle.

Le sujet de cette thèse est l'organisation du planning des cours universitaires. Il consiste principalement à attribuer les cours donnés par un professeur et suivis par un groupe d'étudiants à différentes salles et horaires, tout en répondant à de nombreuses exigences. Ces exigences reflètent les normes et les politiques établies par les universités, ainsi que les besoins et les préférences des étudiants et des professeurs. Au fil des dernières décennies, des recherches approfondies ont été menées sur l'automatisation de l'établissement du calendrier des cours universitaires.

Différentes approches ont été développées pour résoudre les problèmes de planification des cours. Cette thèse se concentre sur l'élaboration d'un modèle de programmation en nombres entiers, appartenant à la catégorie des méthodes de recherche opérationnelle. Un modèle de programmation en nombres entiers est un modèle d'optimisation mathématique incluant des variables entières, des contraintes et une fonction objective. L'utilisation de la programmation en nombres entiers permet de traduire facilement et de manière flexible les règles et exigences en équations mathématiques. En particulier, les variables binaires (qui ne peuvent prendre que les valeurs 0 ou 1) sont souvent employées pour formuler des décisions de type "oui ou non". La programmation en nombres entiers est une technique exacte capable de fournir une solution optimale et de démontrer l'optimalité de la solution trouvée. Par le passé, les méthodes de programmation en nombres entiers étaient limitées à la résolution de problèmes de planification de petite taille. Cependant, ces dernières années, grâce aux progrès des logiciels et du matériel informatique, la programmation en nombres entiers est redevenue une approche viable pour les problèmes de planification à grande échelle.

De ce point de vue, la planification du temps consiste à allouer des ressources disponibles (humaines, matérielles, etc.) à des plages horaires de manière à optimiser un ensemble d'objectifs tels que l'amélioration de la qualité du service et des conditions de travail, tout en respectant les contraintes

imposées par les entités concernées (disponibilité des ressources humaines, matérielles, etc.).

Ce problème est crucial. En effet, un emploi du temps mal conçu peut avoir un impact direct et négatif sur le niveau d'apprentissage des étudiants. La gestion des emplois du temps est une tâche complexe, dont la réalisation manuelle est ardue et peut nécessiter l'engagement de plusieurs personnes pendant plusieurs jours. De plus, toute modification des données du problème peut remettre en question la solution trouvée.

Ces défis ont conduit à l'idée de recourir à l'ordinateur pour assister l'élaboration des emplois du temps en utilisant des outils basés sur des algorithmes d'optimisation pour simplifier cette tâche. Ainsi, depuis la fin des années cinquante, de nombreuses contributions ont été apportées au problème de l'emploi du temps, en raison de sa complexité, de sa grande envergure et du grand nombre de problèmes pratiques qu'il englobe.

Le sujet de ce mémoire a été étudié en se concentrant spécifiquement sur le service pédagogique du département de recherche opérationnelle de l'université de Bordj bou arréridj. Notre travail a été structuré de la manière suivante :

Chapitre 1 : Analyse la difficulté de l'organisation des horaires de travail en entreprise et examine les approches pour l'amélioration, en mettant l'accent sur les différents types de plannings, en particulier dans le domaine de l'éducation.

Chapitre 2 : Étude des problèmes rencontrés lors de la conception de plannings universitaires, expose le problème global de l'organisation du temps et aborde les études qui influencent sa gestion.

Chapitre 3 : Une suggestion consiste à améliorer la programmation manuelle des cours universitaires en utilisant des fonctions mathématiques et des techniques d'optimisation afin de maximiser l'utilisation des ressources tout en satisfaisant les besoins des parties prenantes.

Chapitre 4 : Expose en détail comment l'outil "FICO Xpress" a été utilisé pour mettre en place un modèle de planification, en décrivant le logiciel utilisé et en mettant l'accent sur son utilisation et les résultats obtenus.

1

OPTIMISATION DANS LE CADRE DE LA PLANIFICATION ET DE L'ORDONNANCEMENT

Introduction

Le présent chapitre aborde la question de la planification des horaires dans un cadre global et sa complexité au quotidien au sein des entreprises. En effet, toute entreprise ou établissement actif est préoccupé par la question de l'organisation du temps de travail et de ses défis, ce qui a poussé les chercheurs à élaborer des méthodes et des techniques pour faciliter la gestion optimale des horaires de travail. Dans cette optique, nous distinguons les diverses catégories de plannings dans divers secteurs professionnels, en particulier dans le domaine de l'éducation.

1.1 La recherche opérationnelle :

La Recherche Opérationnelle (RO), également connue sous le nom d'aide à la décision, constitue un domaine dédié à l'application d'outils et de méthodes scientifiques en vue de formuler des choix éclairés. Elle englobe un ensemble de techniques visant à résoudre des problèmes d'optimisation, c'est-à-dire des programmes mathématiques cherchant à minimiser ou maximiser un ou plusieurs critères tout en respectant des conditions définies comme des "contraintes" [13].

La RO se concentre sur la modélisation de problèmes concrets dans divers secteurs tels que l'économie, la finance, la gestion, le transport, la logistique, la communication, et bien d'autres.

En tant que discipline interdisciplinaire, la recherche opérationnelle se situe au carrefour des mathématiques, de l'économie et de l'informatique, offrant ainsi des solutions optimales pour répondre

aux besoins des entreprises en matière de productivité et de planification[21].

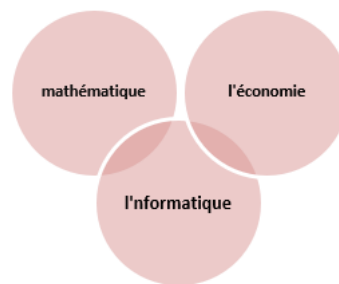


FIGURE 1.1: Les domaines conserver la recherche opérationnelle. [21].

Dans le cadre de la RO, l'approche adoptée consiste à traduire fidèlement ces problèmes concrets en modèles mathématiques, puis à appliquer des techniques spécifiques pour les résoudre. Cette démarche permet de générer des solutions sur lesquelles des décisions éclairées peuvent être prises, en vue d'optimiser les résultats et de répondre aux besoins opérationnels[22].

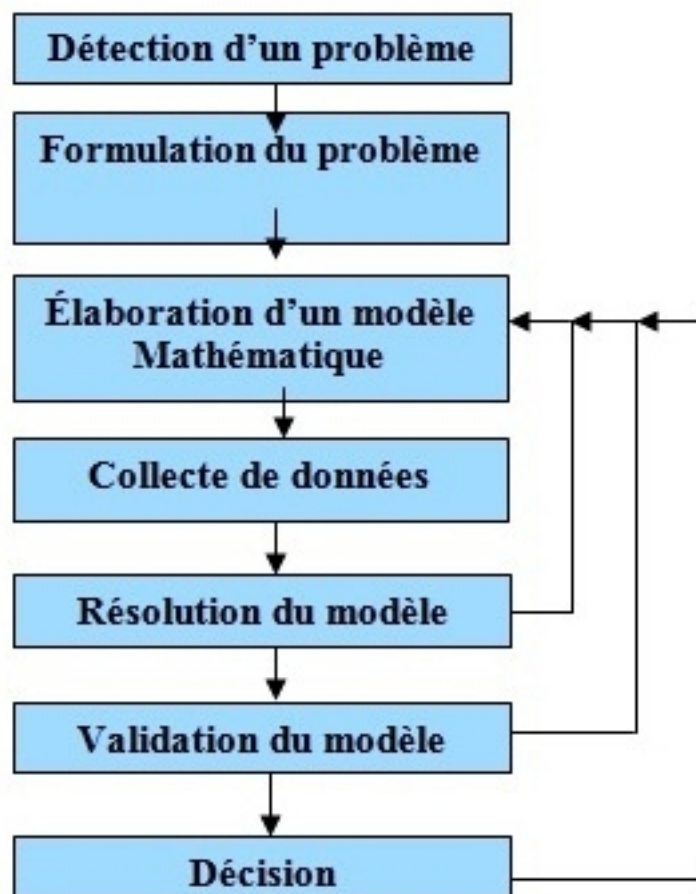


FIGURE 1.2: Les différentes phases de la modélisation mathématique[22].

1.2 la planification :

Définition 1.1. *La planification représente une activité constante et inévitablement orientée vers l'avenir. C'est un objectif et se focalise sur une action ou des étapes qui se déroulent dans un ordre chronologique et en cours de réalisation.*[1]

Définition 1.2. *La planification implique la mise en place d'un plan. Il s'agit d'un processus ambitieux de définition d'objectifs, suivi d'une évaluation des moyens et des ressources requis pour les atteindre, en suivant un calendrier qui expose les étapes à suivre.*[1]

1.2.1 Techniques de planification :

Tout l'enjeu d'une planification est d'optimiser les cinq paramètres primordiaux pour un projet (QCDPR : Qualité, Coût, Délai, Performance, Risques), sachant que :

- les ressources peuvent être limitées .
- la durée doit être souvent la plus courte possible .
- le coût de réalisation est toujours une contrainte .
- L'auditeur du projet exigera toujours une qualité correspondant à son besoin.
- La maîtrise des risques est un élément important[14].

Il est tout aussi essentiel de saisir les principales caractéristiques de la planification qui assurent sa prospérité et son développement tout en atteignant ses objectifs et ses buts.

La planification consiste donc non seulement à établir des objectifs, mais également à élaborer des politiques, des programmes, des procédures et des stratégies solides pour atteindre ces objectifs[25].

La planification possède différentes caractéristiques. On peut mentionner parmi les principaux :

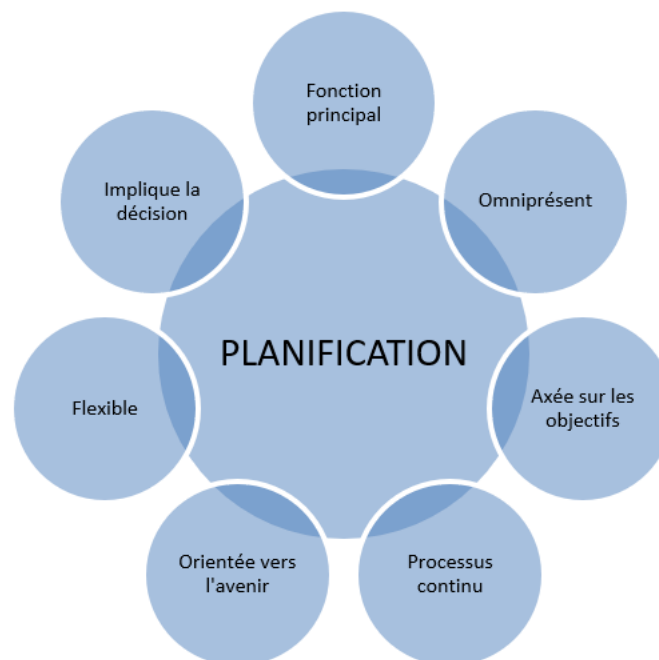


FIGURE 1.3: les caractéristiques de la planification[25].

Définition 1.3. (*Planning*)

On peut également considérer la planification comme un dispositif de gestion visant à atteindre des programmes (*planning*) permettant d'organiser et de planifier le travail à fin d'être continu.

Les *plannings* sont des calendriers de travail, où figurent à la fois le temps, l'affectation du personnel, les jours et les horaires de travail, et les congés et repos[15].



FIGURE 1.4: Créer un planning structuré[15].

1.2.2 Différents types de plannings :

Les plannings peuvent être utilisés pour planifier les horaires de présences du Personnel ou les tâches effectuées par le personnel :

- **La planification des horaires de présence :** est employée pour déterminer les moments où le personnel doit être présent, sans spécifier les tâches exactes à effectuer chaque jour. Cette approche peut être adoptée pour des raisons de sécurité ou dans le but d'offrir une plus grande flexibilité[14].
- **La planification des tâches :** est utilisée dans les organisations et entreprises de haute technicité, où plusieurs métiers et compétences distincts sont nécessaires. Elle vise à assigner le personnel en fonction des tâches spécifiques à accomplir. Cela requiert une analyse détaillée des opérations et l'identification des tâches que chaque individu est apte à réaliser. Les plannings peuvent être établis sur une base journalière, hebdomadaire, mensuelle ou annuelle. Certains plannings sont cycliques, suivant une périodicité définie par une durée D (typiquement en semaine), tandis que d'autres sont acycliques, changeant chaque semaine[14].

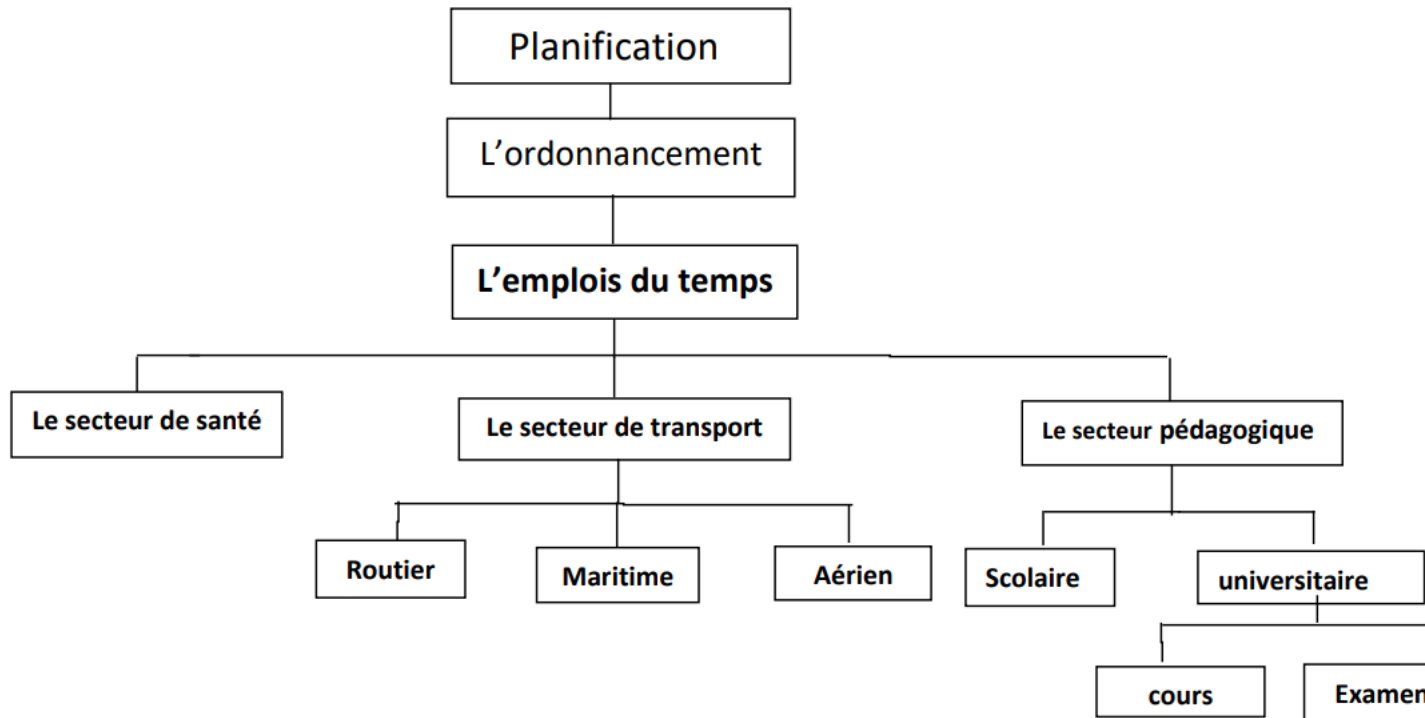


FIGURE 1.5: Un modèle de planification de l'emploi du temps[14].

1.2.3 Domaines d'applications de planning :

Dans l'élaboration des plannings de travail, si la création d'un planning optimisé pour une journée est facile, la création d'un bon planning pour un mois ou une année est beaucoup plus complexe. Outre la complexité combinatoire du problème, il faut tenir compte de la variété des contraintes applicables, souvent contradictoires. Dans ce qui suit, nous allons examiner les différents types d'horaires :

Le domaine de la santé :

Les plannings dans le domaine de la santé revêtent une importance capitale, constituant des calendriers de travail qui détaillent à la fois le temps et l'affectation des personnels, incluant les jours et horaires de travail, ainsi que les périodes de congés et de repos. Ces plannings sont établis au niveau de chaque équipe et remplissent plusieurs fonctions : ils servent à organiser le travail, à documenter les activités prévues et contribuent à la gestion administrative du personnel[4].

Cette tâche est reconnue comme l'une des plus ardues et délicates dans le domaine de la santé. Elle est difficile, car elle nécessite la résolution de problèmes complexes, prenant en compte de multiples contraintes, et est constamment remise en question en raison de l'absentéisme. Elle est délicate parce qu'elle implique invariablement des négociations avec les acteurs impliqués, tels que les médecins, les infirmiers, la direction des services de soins et l'administration. [4]

Les plannings établis prennent la forme de calendriers où sont consignées les affectations des méde-

cins et des infirmiers. Généralement présentés sous forme de tableaux à double entrée, ils organisent le personnel en ligne et le temps en colonne. L'objectif de l'établissement de ces plannings dans le milieu de la santé est donc de trouver un équilibre variable entre les considérations liées aux coûts, à la qualité des soins et à la satisfaction du personnel. Cependant, les gestionnaires sont souvent confrontés à la difficulté d'élaborer des horaires réalisables qui concilient toutes ces contraintes.[4]

Le domaine de transport :

Le transport est une activité complexe qui fait intervenir des investissements lourds. Du personnel qualifié et une informatique très coûteuse.

- **Le transport routier :** il est toujours nécessaire de gérer au mieux les ressources existantes en optimisant les investissements. Il est nécessaire de fournir des services sur mesure, de planifier en permanence et en temps réel, et de gérer le personnel qualifié, une opération complexe car les clients exigent toujours plus de flexibilité. Il est important de prendre en compte plusieurs contraintes, telles que les contraintes, le temps de travail et le manque de personnel qualifié.[4]
- **Le transport maritime :** c'est la gestion des escales et la gestion du personnel docker est aussi une activité complexe qui nécessite un effort considérable de la part des planifiés. Les bateaux doivent rester à quai un peu et les équipes Dockers doivent être disponibles. En effet, la qualité de la planification des travaux influe directement sur la rentabilité de l'activité de l'entreprise, d'où la nécessité de la gestion des escales (planifier le placement des navires sur les quais, planifier la disponibilité des ressources matérielles nécessaires, positionner de l'équipe sur des navires). Afin d'optimiser le coût lié aux chargements et déchargements des navires et la gestion du personnel docker (les besoins en équipe et en qualification pour chaque tâche issue de la gestion des escales et les contraintes liées a la gestion de personnel) pour optimiser l'affectation des ressources tout en tenant compte des contraintes liées à l'organisation du travail.[4]
- **le transport aérien :** La gestion des flux de trafic aérien représente un défi complexe, nécessitant une optimisation sophistiquée. Le contrôle de la circulation aérienne vise à organiser les déplacements des avions de manière à garantir leur sécurité, en minimisant les risques de collision. De plus, il vise à améliorer l'efficacité du réseau de routes aériennes et à élaborer des programmes de vols optimisés.[4]

Le domaine de la pédagogie :

La confection d'horaires (ou confection d'emploi du temps) dans les établissements universitaires est un travail très important. Pour fournir des solutions adaptées aux changements dynamiques de étudiées et les contraintes sur ces matières (cours, TD, TP...) La durée des cours, les contraintes de disponibilité des enseignants, la disponibilité limitée des salles c'est un problème qui peut être défini comme un problème qui fait assigner quelques évènements dans un nombre limité de périodes. l'environnement en tenant compte de la diversité des contraintes telles que l'interdépendance des programmes d'enseignement, la multitude des matières.

Il peut être divisé en deux catégories principales : la confection d'horaires des cours et la confection d'horaires des examens.[4]

La confection de plannings d'horaires est donc une tâche très difficile et sa solution manuelle peut exiger beaucoup d'effort, ce qui a attiré énormément l'attention de la communauté scientifique.

Les problèmes des emplois de temps s'étendent de la construction des emplois du temps semestriels ou annuels dans les universités, écoles ou collèges aux emplois du temps d'examens à la fin de ces périodes. Les premières activités d'emploi du temps ont été effectuées manuellement et un emploi du temps typique, une fois construit, est resté statique avec seulement quelques changements nécessaires[5].

1.3 L'ordonnancement :

Dans les systèmes organisés, il est difficile de planifier des tâches. Il faut traiter plusieurs étapes pour résoudre les problèmes liés aux ressources. C'est pourquoi nous devons faire appel à l'ordonnancement.

Définition 1.4. *L'ordonnancement est un processus de prise de décision régulièrement utilisé dans de nombreuses industries de production et de services. Elle implique l'affectation de ressources à des tâches sur des périodes de temps spécifiques dans le but d'atteindre un ou plusieurs objectifs optimisés[15].*

Définition 1.5. *Ordonnancement un ensemble de tâches consiste à planifier leur réalisation en leur attribuant les ressources nécessaires et en fixant leurs débuts. Les modèles mathématiques sont abordés dans la théorie de l'ordonnancement, mais elle examine également des situations réelles très complexes. De plus, le développement de méthodes utiles ne peut être que le résultat de l'interaction entre la théorie et la pratique. Les difficultés d'organisation se manifestent dans tous les secteurs de l'économie : l'informatique (les tâches sont les programmes, les ressources sont les processeurs, la mémoire,...), la construction (suivi de projet), l'industrie (activités des ateliers de gestion de production et problèmes de logistique), l'administration (emploi du temps).[2]*

Définition 1.6. *L'ordonnancement est un problème qui implique de planifier dans le temps la réalisation de tâches, en tenant compte de contraintes temporelles (délais, contraintes d'enchaînement) et de contraintes liées à la disponibilité des ressources besoins. Dans le domaine de la production (production manufacturière, de biens, de service), il peut être décrit comme un défi où il est nécessaire de déclencher et de contrôler l'avancement d'un ensemble de commandes à travers les différents centres du système. Un ordonnancement est une solution pour résoudre le problème de l'ordonnancement. Il est établi en fonction du calendrier d'exécution des tâches (« ordre » et « calendrier ») ainsi que de l'allocation des ressources, et a pour objectif de réaliser un ou plusieurs objectifs .[3]*

Ainsi, l'ordonnancement peut être considéré comme le processus de planification des tâches, en déterminant leur séquence et leur timing spécifiques, en fonction de la disponibilité des ressources nécessaires. Cela implique de respecter scrupuleusement les contraintes liées aux tâches et aux ressources pour assurer une exécution efficace et efficiente.

1.4 Les solveurs :

Un solveur est un outil ou un algorithme qui est utilisé pour résoudre des problèmes mathématiques, scientifiques ou d'optimisation. Les solveurs sont souvent utilisés dans le domaine de l'informatique, des

sciences appliquées, de l'ingénierie, de l'économie et d'autres domaines pour résoudre des problèmes complexes qui peuvent être difficiles à résoudre manuellement. Un solveur peut prendre différentes formes, notamment des solveurs numériques qui utilisent des méthodes numériques pour résoudre des équations et des problèmes mathématiques, des solveurs logiques qui résolvent des problèmes basés sur la logique et des solveurs d'optimisation qui trouvent les meilleures solutions possibles à des problèmes d'optimisation, tels que les problèmes d'optimisation linéaire ou non linéaire. En informatique, les solveurs sont fréquemment implémentés sous forme de logiciels ou de bibliothèques qui peuvent être intégrés dans des programmes informatiques pour résoudre des problèmes spécifiques. Les solveurs sont utilisés dans les logiciels de calcul, des logiciels de modélisation et de simulation pour résoudre différents problèmes[6].

Conclusion

Cette synthèse offre la possibilité de comprendre le contexte très vaste et la dimension du problème traité. Parmi tous les types de plannings mentionnés, notre attention se portera sur les plannings pédagogiques, en particulier sur les plannings ou emploi du temps des cours universitaires. Bref, ce chapitre nous a donné une compréhension approfondie de l'importance essentielle de l'optimisation dans le domaine de la planification et de l'ordonnancement, posant ainsi les fondations pour des investigations plus approfondies dans les prochains chapitres.

2

ÉTAT DE L'ART

Introduction

La création de plannings d'horaires est une tâche très difficile et sa solution manuelle peut exiger beaucoup d'effort, ce qui a attiré énormément l'attention de la communauté scientifique. Dans la mesure où notre travail se rapporte au problème de gestion d'emploi du temps au sein de l'université.

ce chapitre débute par une présentation générale du problème de l'emploi du temps, avant d'analyser en profondeur l'état actuel de la question de l'emploi du temps. Grâce à cette exploration, nous nous plongeons au coeur des études et des progrès qui ont influencé notre compréhension de ce défi complexe.

Le problème de l'emploi du temps, présent dans de nombreux secteurs, des établissements scolaires aux entreprises, met en cause les normes et suscite une réflexion constante sur les meilleures méthodes pour le résoudre.

2.1 Le problème d'emploi du temps :

Définition 2.1. (*L'emploi du temps*) *L'emploi du temps implique l'affectation d'un ensemble de tâches et d'activités à un ensemble de ressources, en se basant sur des périodes spécifiques, tout en respectant un ensemble de contraintes.*[2]

Définition 2.2. *Le problème de l'emploi du temps est un des problèmes de calcul difficiles dans l'organisation. Un emploi du temps est un plan qui détermine le temps nécessaire pour élaborer des tâches et des objectifs fixés préalablement sous forme de créneaux horaires. Il s'agit de gérer les charges de travail dans le temps tout en prenant en compte les ressources humaines et matérielles disponibles. Donc, on peut définir le problème de l'emploi du temps comme la recherche d'une gestion optimale des*

ressources en respectant au maximum les contraintes de temps. Les limites de temps peuvent changer en fonction du problème de l'emploi du temps. Cela peut causer des objectifs différents.[4]

2.1.1 Problème d'emploi du temps universitaire :

L'emploi du temps universitaire est un calendrier qui liste les cours, les séminaires, les travaux dirigés, les examens et d'autres activités académiques prévues par les étudiants et les enseignants dans une université ou un établissement d'enseignement supérieur. Les horaires des étudiants et des enseignants sont ajustés de manière efficace en respectant les besoins des programmes d'études, la disponibilité des salles de classe, les exigences logistiques et les préférences individuelles.[4]

Le problème de la gestion des emplois du temps universitaires est une des instances les plus connues des problèmes d'ordonnancement. Il s'agit d'attribuer à un ensemble d'enseignants des salles de classe et de fixer les horaires de début et de fin de leurs cours. À l'heure actuelle, la création d'un emploi du temps qui satisfait tous les besoins d'un établissement universitaire est une tâche essentielle, mais très complexe. Grâce aux progrès dans les technologies matérielles et logicielles, la communauté scientifique continue de s'efforcer de résoudre ce problème en développant des méthodes formelles et automatisées pour concevoir des calendriers efficaces et adaptés[26].

Burke et ses collègues [Burke et al. 2002] soulignent que ce type de problème se divise en deux grandes catégories : les cours et les examens. Divers aspects distinguent ces deux catégories. Par exemple, on cherche à regrouper les cours, tandis qu'on préfère espacer les examens autant que possible[23]. De plus, un cours se déroule à un moment précis dans une salle, tandis que plusieurs examens peuvent se tenir simultanément dans la même salle, ou un même examen peut être réparti dans plusieurs salles [Moyaux et al. 2003][24].

2.1.2 Le rôle d'un emploi du temps :

Un emploi du temps est l'organisation qui assure la gestion de plusieurs établissements. Afin d'y parvenir, il est nécessaire de disposer d'un système solide capable de faire face à divers obstacles, tels que :

- Le nombre de salles occupées.
- La gestion des salles.
- La gestion des séances.
- L'absence d'enseignants.
- La demande d'un même enseignant pour différentes promotions.
- La surcharge pédagogique[20].

2.1.3 Les ressources :

- **Les ressources de type enseignement :** Un enseignement est similaire à un module, il est axé sur une matière particulière et peut être géré par plusieurs enseignants [8].

- **Les ressources de type groupe :** Une promotion se compose de tous les étudiants inscrits dans un même programme de formation[8].
- **Les ressources de type salle :** Une salle est un lieu où sont organisés des enseignements. Le type d'une salle est une information sur le type d'enseignement qu'on peut y faire[8].
- **Les ressources de type matériel :** Pour qu'un enseignement puisse se dérouler, l'enseignant utilise un matériel pédagogique. Généralement ce matériel est limité à un tableau, des craies, éventuellement un rétroprojecteur et parfois un vidéo projecteur. Pour des enseignements particuliers, l'enseignant peut avoir besoin de matériel spécifique[8].
- **Les entités temporelles :** Pour modéliser le temps, les entités : date, heure, durée, créneau et calendrier sont définies. Une date désigne un instant défini par un triplet (jour, mois, année). A partir de ce triplet, on détermine la valeur qui lui est associée sur l'axe des jours[8].

2.2 Les méthodes de résolution :

De nombreuses méthodes approchées de résolution existent en recherche opérationnelle pour résoudre ce problème. Ces méthodes ne procurent pas forcément une solution optimale, mais seulement une solution de qualité qui est bien calculée en un temps de calcul faible. Ensuite, nous allons citer quelques méthodes de résolution.

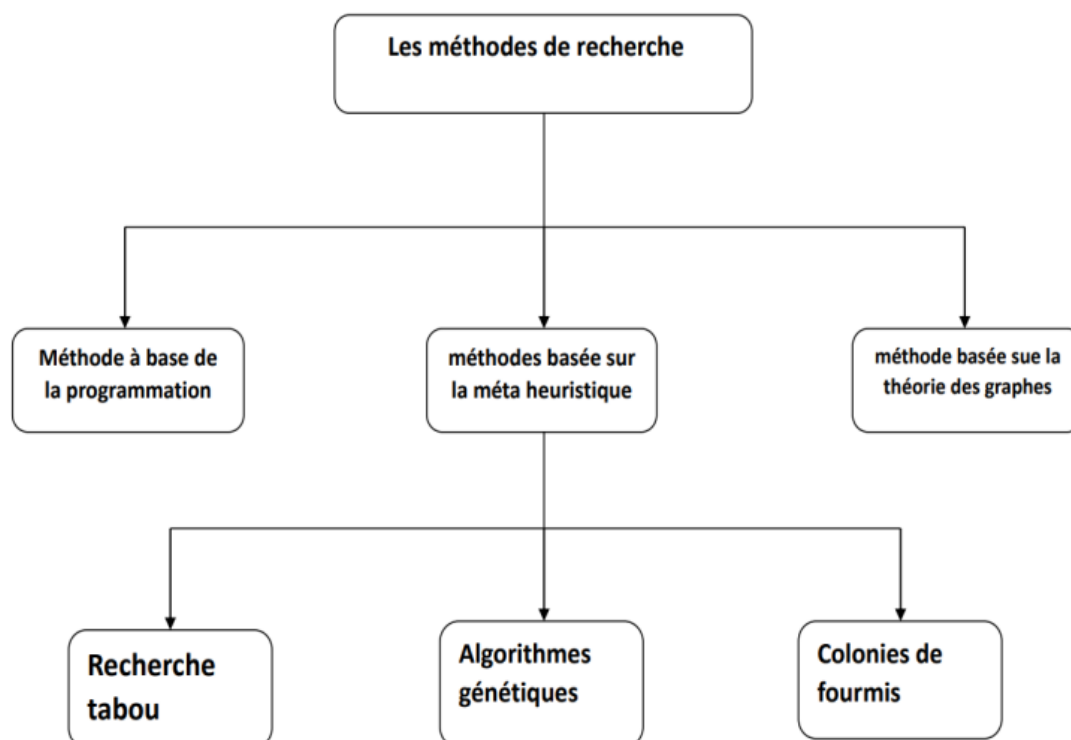


FIGURE 2.1: Classement des méthodes de résolution[9].

2.2.1 Méthodes basées sur les méta-heuristiques :

Les méta-heuristiques basées sur la population travaillent avec un ensemble de solutions et utilisent différents opérateurs et règles pour créer une nouvelle génération de solutions dans les régions voisines des solutions existantes. Parmi les exemples de ces méta-heuristiques, on trouve les algorithmes génétiques, l'optimisation par colonies de fourmis[9].

Les colonies de fourmis :

Définition 2.3. *Les colonies de fourmis ont été créées suite à une constatation que les insectes sociaux en général, et les fourmis en particulier, résolvent naturellement des problèmes relativement complexes. Les biologistes ont étudié comment les fourmis peuvent résoudre ensemble des problèmes trop complexes pour un seul individu, tels que les problèmes de choix lors de l'exploitation de sources de nourriture[10].*

Cette méthode basée sur le comportement des fourmis qui trouvent leur chemin entre leur nid et la nourriture en se déplaçant aléatoirement et en laissant des traces de phéromones. Les fourmis renforcent les chemins efficaces en ajoutant plus de phéromones, permettant ainsi à d'autres fourmis de suivre ces chemins vers la source de nourriture. L'objectif de cette méthode est de déplacer les fourmis artificielles afin de trouver le meilleur itinéraire[16].

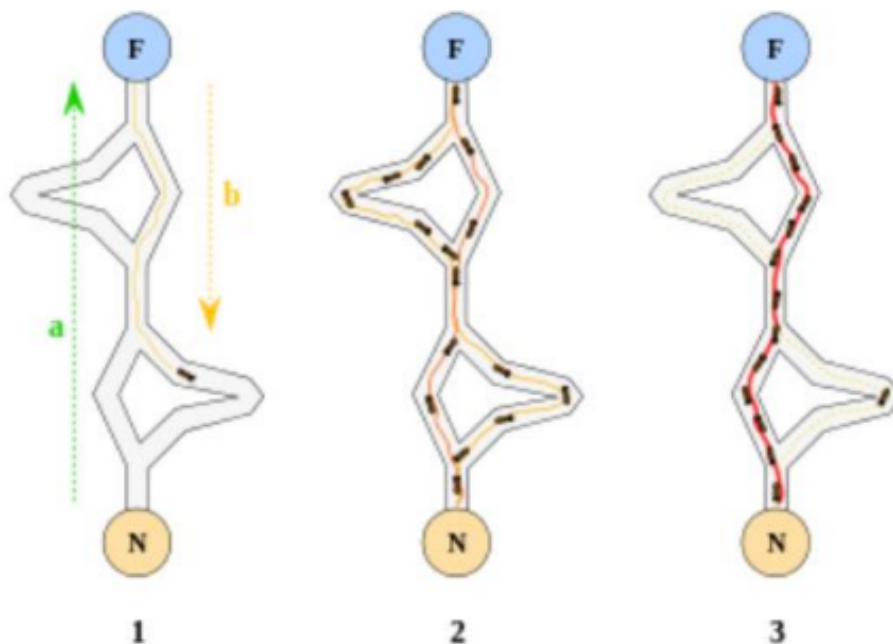


FIGURE 2.2: Processus de l'algorithme d'optimisation des colonies de fourmis[16].

L'emploi du temps avec les colonies de fourmis :

Auteur	Expérimentation
Socha et Al. (2002)	Utilisation du système de fourmi Max-Min pour générer l'horaire des cours universitaires par Socha et Al a conduit 'a la construction d'un chemin optimal où chaque chemin pourrait générer un graphique constructif pour attribuer des cours à des intervalles de temps affectés par la quantité de phéromone dans une plage[26].
Nothegger, Chwatal et Raidl (2008)	L'application de l'algorithme d'optimisation des colonies de fourmis par Mayer, Nothegger, Chwatal et Raidl (2008) pour le problème L'EPT a été post-inscrite selon le jeu de données ITC-2007 où les fourmis attribuent des événements aux salles et aux intervalles de temps en fonction de deux types de phéromone $T_{s_{ij}}$ et $T_{y_{ij}}$. Cet algorithme a de bonnes performances et conduit 'à de bons résultats avec un temps d'exécution élevé[10].

TABLE 2.1: Tableau récapitulatif des travaux effectués dans Les colonies de fourmis .

L'algorithme génétique :

Définition 2.4. *L'algorithme génétique est un algorithme de recherche qui se base sur les mécanismes de sélection naturelle et de la génétique. Il combine une stratégie de survie des plus forts avec un échange d'information aléatoire, mais structuré. Pour un problème pour lequel une solution est inconnue, un ensemble de solutions possibles est créé aléatoirement[9].*

La technologie des algorithmes génétiques est utilisée pour créer des emplois du temps pour les cours dans les universités. Les emplois du temps produits ne sont pas composés d'unités programmées conflictuelles pour les enseignants, les étudiants ou les départements, et l'algorithme peut optimiser les emplois du temps en fonction des préférences des utilisateurs, si cela est possible dans les limites de l'emploi du temps[9].

Les algorithmes génétiques sont un ensemble de étapes basées sur les étapes suivantes :

- a) Évaluer la population d'origine.
- b) Évaluer la population gérée en utilisant la méthode d'évaluation.
- c) Choisir certaines personnes en tant que parents en se basant sur les informations obtenues à partir des fonctions d'évaluation.
- d) Utiliser l'outil de croisement afin de générer des enfants. e) Utiliser l'outil de conversion pour les enfants.
- f) Choisir les parents et les enfants afin de constituer la nouvelle génération pour la génération à venir[9].

Si la condition de fin est remplie, l'algorithme se termine, sinon il passe à la deuxième étape et poursuit.

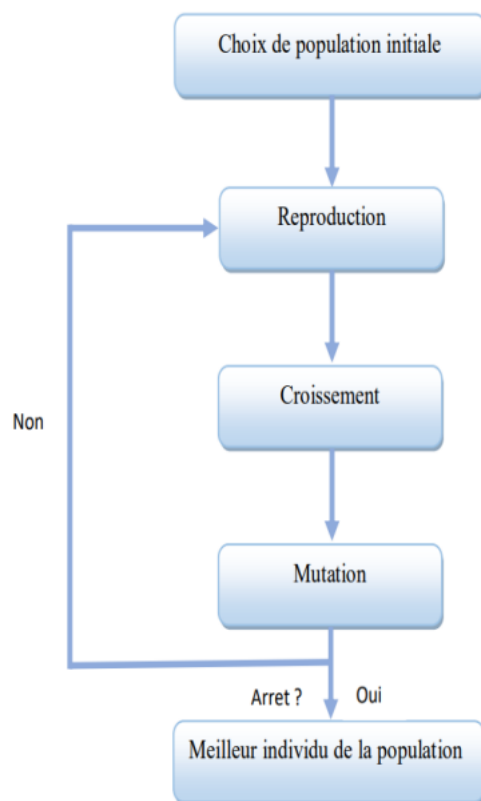


FIGURE 2.3: Les étapes de fonctionnement d'un algorithme génétique[4]

Application des algorithmes génétiques pour les problèmes d'emplois du temps :

Auteur	Expérimentation
A. O adewumi et al.En 2008	- On considère chaque chromosome comme un emploi du temps dans une salle.- Chaque gène dans le chromosome renferme des renseignements sur les différents cours qui sont planifiés dans cette salle pour des périodes de temps spécifiques.- En incorporant une fonction d'évaluation afin de mesurer le niveau de violation des contraintes strictes et de déterminer le nombre d'erreurs de compilation[10].
Khonggamnerd et Innet (2009)	Les horaires d'une université ont été triés à l'aide d'un algorithme génétique, avec un taux de croisement de 70%. Cependant, aucune contrainte stricte n'a été violée lors de la planification[10].
Alsmadi, AboHammour (2011)	Une nouvelle approche algorithmique a été suggérée pour résoudre le problème d'emploi du temps qui intègre une machine d'apprentissage. Les conséquences de cette méthode consistent à minimiser le nombre de contraintes souples violées, à optimiser l'utilisation des salles disponibles et à réduire la charge de travail des enseignants[9].

TABLE 2.2: Tableau récapitulatif des travaux effectués dans les algorithmes génétiques.

Recherche tabou :

Définition 2.5. *L'algorithme de recherche Tabou est une technique d'optimisation méta-heuristique qui part d'une solution initiale et se déplace itérativement vers les solutions voisines. Il sélectionne la meilleure solution voisine, à moins qu'elle ne se trouve dans une liste de Tabou, auquel cas, il vérifie un critère d'aspiration. Si la solution voisine est meilleure que la meilleure solution trouvée jusqu'à présent, elle est poursuivie, même si elle se trouve dans la liste Tabou. Après s'être déplacé vers une solution voisine, il met à jour la liste de Tabou afin d'éviter de revenir sur des déplacements récents. La durée des déplacements dans la liste de Tabou est déterminée par un paramètre appelé Tabou Tenure. Ce processus se poursuit jusqu'à ce qu'une condition d'arrêt soit remplie[10].*

La recherche s'arrête si :

- Si une solution optimale est trouvée et prouvée.
- Si une limite est atteinte en termes de nombre d'itérations ou de temps de calcul.
- Si la recherche semble stagner, c'est-à-dire lorsque le nombre d'itérations se poursuit sans amélioration de la meilleure configuration trouvée[10].

Recherche tabou et emploi de temps :

— Auteur	Expérimentation
Alvarez, Crespo et Tamarit (2002)	ont utilisé un algorithme appelé Tabou pour trouver des étudiants dans les groupes de cours pour gagner du temps en toute qualité. Leur méthode se compose de trois phases : <ol style="list-style-type: none"> 1. La phase initiale consistait à générer un ensemble de solutions pour chaque étudiant. 2. Dans la deuxième étape, nous avons utilisé des méthodes similaires en utilisant la méthode Tabu Search et des stratégies locales pour améliorer les emplois du temps sans considérer les pires solutions pour chaque étudiant. 3. La dernière phase s'est concentrée sur l'attribution des salles et sur la poursuite de l'amélioration sans modifier l'attribution initiale des cours aux créneaux horaires. Au début de la deuxième étape, il y a eu différents déplacements, comme des déplacements simples, des conversations et des échanges multiples. Chaque déplacement a un impact différent sur le processus d'optimisation que nous avons mentionné dans leur méthode[10].
Schaerf 2008	Cette méthode a été utilisée pour résoudre le problème. Le codage matriciel $M_{i,j}$ a été utilisé, avec le nom de la classe du professeur i dans la période j . Les quartiers voisins Les suggestions sont les suivantes : Échanger deux cours pour un même professeur. éplacer un cours vers un autre niveau. Dans le cas d'instances de taille moyenne, il a été constaté que les résultats obtenus ont été positifs[9].

TABLE 2.3: Tableau récapitulatif des travaux effectués dans la recherche taboue.

2.2.2 Méthode basée sur la théorie des graphes (la coloration) :

Définition 2.6. *En théorie des graphes, la coloration de graphe consiste à attribuer une couleur à chacun de ses sommets de manière à ce que deux sommets liés par une arête soient de couleur différente. Le nombre de couleurs le plus souvent recherché est le nombre chromatique. La coloration fractionnaire consiste à chercher non plus une, mais plusieurs couleurs par sommet et en associant des coûts à chacune. Le champ d'applications de la coloration de graphe couvre notamment le problème de l'attribution de fréquences dans les télécommunications, la conception de puces électroniques ou l'allocation de registres en compilation[17].*

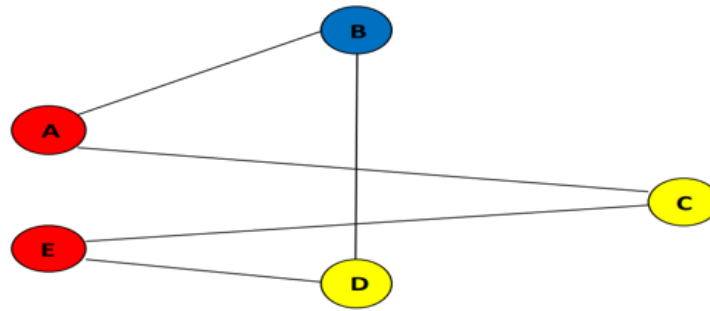
La théorie des graphes est un domaine complexe qui offre une multitude de modèles et d'applications pour résoudre divers problèmes difficiles. Parmi ces applications notables, on trouve le célèbre problème de coloration des graphes.

La première formulation du problème d'horaire a été proposée par Gotlib en 1963, impliquant trois ensembles : les enseignants, les salles et les créneaux horaires. Le tout premier problème d'ordonnancement a été résolu en utilisant une approche basée sur la coloration de graphes, selon Welsh Powell en 1967. Cependant, cette méthode s'est avérée insuffisante pour résoudre les cas où des sessions étaient préalablement attribuées[18].

La théorie des graphes et emploi de temps :

Auteur	Expérimentation
Werra (1985)	Explique la technique de coloration des graphes pour la modélisation d'un problème d'horaire à l'aide d'un graphe non orienté. Le but est de couler le graphe en utilisant un nombre minimum des couleurs. Il n'y a aucun sommet (nœud) adjacent de la même couleur. Dans le problème d'horaire basé sur la théorie de la coloration des graphes, les événements, les contraintes et les échéances sont considérés comme des nœuds, des arêtes et des couleurs. Les nœuds colorés équivalents au nombre de créneaux horaires. Ainsi, nous pouvons programmer les événements dans un créneau horaire en un jour Ce en utilisant cette coloration, en d'autres termes, si deux nœuds adjacents ont la même couleur, alors un conflit de temps se produira[10].
E.K BURKE et Al En 2010	Transformation du graphe G du problème a un autre graphe de type clique G' permettant la dimension de la matrice de coloriage et la réduction de l'espace de recherche $G(V, E) \implies G'(V, E')$. — Réalisation d'une étude de cas pour l'université d'Udine en Italie. Il a utilisé le solveur Cplex 10.0 pour l'implémentation de sa formulation du problème. l'évaluation de son travail il a choisi de comparer son travail avec la formulation standard du problème, en mesurant le temps d'exécution (par seconde) et le nombre d'itérations (quatre instances de l'université d'Udine : {standard : 23,23;14,51 ; 83,41 ; 144,49 secondes} {Itération : 8082, 4749, 16807, 30655} {New : 4,45 ; 10,04;17,25;145,99seconds} {Itération :3370 ; 4826 ; 11698 ; 30655} Conclusion que la meilleure solution est celle de la première instance Udine1 en réalisant 143 secondes pour sa résolution[11].

TABLE 2.4: Tableau récapitulatif des travaux effectués dans la théorie des graphes.



(Événement) cours : A, B, C, D, E.

Arêtes (contraintes) : $\{(A, B), (A, C), (B, D), (C, E), (D, E)\}$.

Couleurs (plages horaires) : A, E : rouge. B : bleu. D, C : jaune.

FIGURE 2.4: Représentation de problème de l'emploi du temps par la méthode de coloration de graphe (de Werra 1985)[28].

2.2.3 Méthode à base de la programmation linéaire :

Définition 2.7. *La programmation linéaire est un outil très puissant de la recherche opérationnelle et est une méthode mathématique d'optimisation qui se concentre sur la manière optimale de répartir les ressources limitées entre des activités concurrentes. La programmation linéaire est une solution efficace pour résoudre le problème d'emploi du temps en termes de planification des cours et des enseignants[12].*

Définition 2.8. *La programmation linéaire est un outil extrêmement puissant en recherche opérationnelle. C'est une technique polyvalente capable de résoudre un large éventail de problèmes. Une fois qu'un problème est modélisé sous forme d'équations linéaires, des méthodes spécifiques garantissent sa résolution de manière exacte[11].*

La programmation linéaire et emploi de temps :

Auteur	Expérimentation
s.daskalaki et al.En 2004	Les améliorations apportées à la programmation linéaire en nombres entiers incluent l'intégration de variables multidimensionnelles pour capturer davantage de détails du problème. De plus, une fonction de coût est introduite pour prendre en compte des préférences spécifiques telles que les jours, les salles et les périodes de temps, offrant ainsi une plus grande flexibilité au système[11].
Algethami & Laesan-klang (2021)	En utilisant la programmation en nombres entiers mixtes pour créer un calendrier automatisé tout en gardant à l'esprit les limitations liées à la faculté. Les éléments du cours, les jours, les horaires, les salles, les intervenants et les groupes d'étudiants sont tous inclus dans le modèle. Les restrictions suivantes sont en place : 1. prévenir les conflits entre les classes, les amphithéâtres, les intervenants, les étudiants et le temps. 2. Répartition des cours : les cours ayant le plus grand nombre de crédits doivent être attribués le matin. 3. Satisfaire aux exigences des crédits d'enseignement 4. Restrictions d'horaires : Une pause à midi doit être prévue chaque jour. 5. Partage de la charge de travail entre les membres du corps enseignant. 6. Stabilité des salles. 7. Salle de capacité. 8. Capacité de l'enseignant : Un enseignant ne peut donner que les cours pour lesquels il est qualifié. 9. Les caractéristiques de la salle :Les cours sont donnés dans les salles dotées des équipements or des caractéristiques requis. 10. Teachers' availability during specific hours. The goal is to minimize the total number of days that a student must report to college and maximize the preferences of the professors[19].
Arratia-Martinez, Maya-Padron & Avila- Torres (2021)	Présentation d'un nouveau modèle mathématique pour un département universitaire particulier au Mexique en utilisant une programmation en nombres entiers qui se concentre sur l'organisation des heures de cours. Le modèle inclut des informations concernant les intervenants, les cours, les horaires et les sections de cours. Sections de cours. Il y a les contraintes suivantes. 1. Organisation : toutes les leçons et leurs parties sont prévues. 2. Éviter les tensions entre les enseignants, les enseignants et le temps. 3. Éviter toute confusion : Chaque enseignement est donné une fois. 4. La responsabilité des conférenciers. 5. Les enseignants ont la capacité d'enseigner uniquement les cours qu'ils sont capables d'enseigner. 6. Limitations horaires : il est possible de planifier certains cours uniquement le matin et d'autres l'après-midi. 7. Disponibilité des enseignants : les enseignants à temps plein doivent avoir le même temps libre pour les tâches administratives, et certains horaires sont réservés pour une autre formation. Le but est de réduire au maximum le nombre de cours pour lesquels aucun conférencier n'est nommé. L'autre but est de trouver un équilibre entre le nombre de cours programmés dans chaque horaire[19].

TABLE 2.5: Tableau récapitulatif des travaux effectués dans la programmation linéaire.

Conclusion

La planification des emplois du temps universitaires a été, sans aucun doute, le sujet de nombreuses recherches menées par différents chercheurs. Ces études ont étudié différentes approches afin de résoudre ce problème complexe. Dans ce chapitre, nous nous sommes concentrés sur l'analyse des différentes expériences où ces méthodes ont été utilisées.

3

ÉTUDE ET MODÉLISATION DU PROBLÈME

Introduction

Les universités publiques doivent souvent programmer manuellement les cours en fonction de la disponibilité des conférenciers et de l'espace disponible dans les salles de classe. L'approche proposée vise à rationaliser cette procédure afin de gagner du temps et de garantir l'efficacité. En formulant le problème à l'aide de fonctions mathématiques et de techniques d'optimisation, l'étude cherche à trouver des valeurs qui maximisent l'utilisation des ressources tout en répondant aux besoins de toutes les parties prenantes. Le problème se complique au fur et à mesure que l'institution grandit et que des restrictions sont imposées, telles que des restrictions sur les cours et la disponibilité des ressources. Les solutions proposées peuvent devenir moins efficaces et moins précises à mesure que le nombre de cours et de classes augmente.

3.1 Présentation de la faculté :

Depuis sa création en 2000/2001, la faculté des mathématiques et d'informatique est une composante essentielle de l'université. Trois filières sont incluses dans cette formation : Mathématiques, Mathématiques appliquées et Informatique. La faculté des mathématiques et d'informatique offre des formations qui conduisent à l'obtention de trois licences académiques, six masters et deux doctorats. L'expertise de ses enseignants, la vitalité de son personnel administratif et les ressources matérielles disponibles sont des atouts pour assurer une excellente qualité d'enseignement et une prise en charge optimale des étudiants[29].

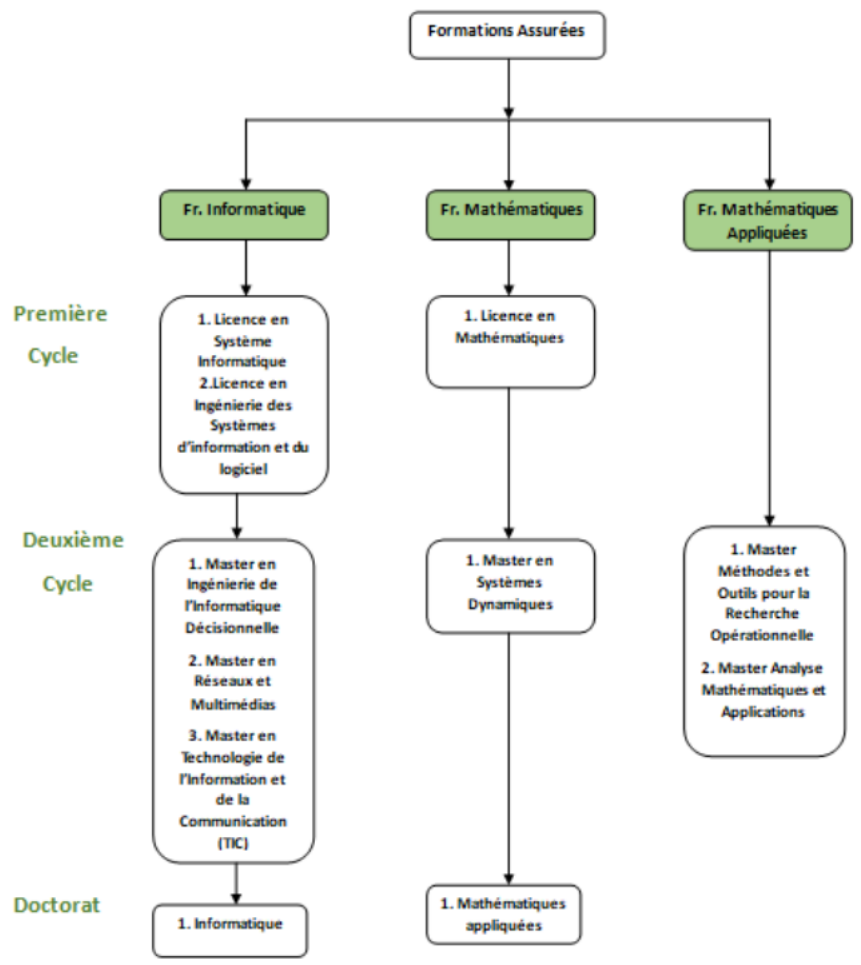


FIGURE 3.1: Formation assurées dans la faculté des mathématiques et d'informatique[29].

3.2 Description du problème à résoudre :

Dans un environnement éducatif comme un département de recherche opérationnel, la gestion des emplois du temps est essentielle. L'objectif est de structurer les cours de façon à satisfaire les besoins des étudiants et des enseignants, tout en prenant en considération les contraintes pédagogiques et matérielles[9].

Dans cette situation, les études universitaires sont organisées en différentes promotions, sections et groupes. Tous les programmes d'enseignement sont préétablis, avec des modules, une durée et une nature spécifiques (cours, travaux dirigés, travaux pratiques, etc.).

Pour résoudre le problème de l'emploi du temps, il faut donc assigner les cours à des périodes déterminées, en prenant en considération la durée requise, les locaux appropriés en termes de capacité et d'équipement, ainsi que les compétences des enseignants. Il s'agit de réduire au maximum les éventuels conflits entre les enseignants, les étudiants et les ressources matérielles, tout en se conformant aux objectifs pédagogiques et aux contraintes organisationnelles. En bref, les informations requises pour résoudre le problème sont composées de :

- *un ensemble de horaires de travail.*
- *Un regroupement de promotions ou des groupes d'étudiants.*
- *Un ensemble d'activités pédagogiques(cours, TD ou TP) à planifier pendant la semaine.*
- *Un ensemble de locaux (salles, amphis et labos)[9].*

La répartition des modules, des enseignants et des locaux à des périodes est soumise à des contraintes qui varient en fonction de leurs priorités.

3.2.1 Types des contraintes :

Pour résoudre un problème d'emploi du temps, il est nécessaire de répondre à deux types de contraintes : une contrainte dures et une contrainte de préférence.

• Les contraintes dures :

Ces contraintes sont essentielles car leur non-respect compromettrait sérieusement l'efficacité de l'emploi du temps dans la pratique. Dans notre contexte, nous identifions 5 contraintes fondamentales.

1. *Planifier toutes les activités pédagogiques.*
2. *Un enseignant ne peut pas enseigner des matières différentes au cours de la même période d'une journée.*
3. *Un étudiant ne doit pas étudier plus d'une matière dans la même période de la journée.*
4. *Il ne devrait pas y avoir plus de deux périodes libres entre les séances de cours voisines Pendant la journée d'étude.*
5. *ne peut pas faire un TD ou TP pendant un séance de cours de la section.*

• **Les contraintes de préférence :**

À la différence des contraintes précédentes, les contraintes de préférences ne nécessitent pas une vérification rigoureuse, mais plutôt une approche maximale de l'objectif souhaité. Dans notre situation, on distinct :

1. L'enseignant peut avoir le choix de proposer en priorité certains créneaux horaires pour ses activités pédagogiques.
2. La période 4 de chaque jours devrait être libre pour les déjeuner.
3. L'enseignant doit donner au moins deux activités pédagogiques consécutifs pendant la journée.
4. Chaque enseignant devrait enseigner au moins deux jours par semaine

L'application de ce genre de contraintes est nécessaire dans toutes les situations, car le non-respect d'une de ces contraintes rend l'emploi du temps inefficace dans la réalité.

Pour représenter l'ensemble des contraintes qui régissent notre problème, il est essentiel de définir tout d'abord les structures de données requises.

3.3 La modélisation mathématique :

Pour créer une formule mathématique, il est nécessaire de définir certains ensembles et paramètres spécifiques. Par la suite, les variables peuvent être définies afin de déterminer la fonction objective et les contraintes.

3.3.1 Les indices :

T : Indice de l'enseignant, parcourant l'ensemble des enseignants $TEACHERS$.

C : Indice de la classe, parcourant l'ensemble des classes $CLASSES$.

D : Indice du jour, parcourant l'ensemble des jours de la semaine de 1 à ND .

P : Indice de la période de cours, parcourant l'ensemble des périodes de cours par jour de 1 à NP .

L : Indice du créneau horaire, parcourant l'ensemble des créneaux horaires pour toute la semaine de 1 à $NP*ND$.

3.3.2 Les Paramètres :

ND : nombre de jours dans la semaine.

NP : nombre de périodes de cours par jour.

Teachers : ensemble des enseignants.

Classes : ensemble des classes.

Slots : ensemble des créneaux horaires pour toute la semaine.

Samedi	Dimanche	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi
1-2-3-4-5-6	7-8-9-10-11-12	13-14-15-16- 17-18	19-20-21-22- 23-24	25-26-27-28- 29-30	31-32-33-34- 35-36

TABLE 3.1: Tableau repré-sentatif de créneaux de la semaine.

Nous présentons dans les sections suivantes 2 instances du modèle, la première conserve M1 plus M2 de recherche opérationnelle et la deuxième conserve la première année MI.

• Instance 1 :

La spécialité de la recherche opérationnelle est organisée en deux niveaux, Master 1 et Master 2, qui comptent chacun un certain nombre d'étudiants. Le tableau ci-dessous présente ces niveaux, ainsi que le nombre total de matières pour chaque niveau et le nombre d'enseignants disponibles.

Modules	Séances	Enseignants
Prob :Probabilités et statistiques.	2	E1
TG : Théorie des graphes.	2	E2
PL : programmation linéaire.	3	E3
TGP :Technique de gestion de production.	1	E4
Out.P : Outil de programmation.	2	E5
SO :Système organisationnel.	2	E6
MS :modélisation de système.	2	E7
F.D : Feuille de Donnée.	2	E9
M.H : Méta Heuristique.	2	E9
Ord : Ordonnancement.	3	E3
I.A : Intelligence artificielle.	1	E8
Th.J :Théorie des jeux.	2	E8
M.S : Modélisation et simulation.	2	E8
Opt.Mul :Optimisation Multi-Objectif.	3	E10
ANG : Anglais.	1	E1

TABLE 3.2: Les séances et les enseignants disponibles pour chaque matière.

3.3.3 Les variables :

On définit la variable bivalente suivante qui dépend de $TEACHERS, CLASS, SLOTS$.

$$X_{tcl} \begin{cases} 1 & \text{si l'enseignant } t \text{ donne un cours à la classe } c \text{ pendant la période } l \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (3.1)$$

3.3.4 Les contraintes :

Dans cette situation, nous sommes confrontés à différents types de contraintes. Examinons successivement chacune de ces contraintes.

• Les contraintes dures :

1. Planifier toutes les activités pédagogiques :

$$\sum_{l \in \text{slots}} X_{tcl} = \text{cours}_{tc} \quad \forall t \in T, \forall c \in C \quad (3.2)$$

assure que chaque activités pédagogiques prévu pour une classe par un enseignant est planifié.

2. Pour chaque classe, une activités pédagogiques à la fois :

$$\sum_{t \in T} X_{tcl} \leq 1 \quad \forall l \in \text{slots}, \forall c \in C \quad (3.3)$$

Cette contrainte garantit à tout moment, chaque classe ne peut avoir une seules activités pédagogiques. Cela signifie que pour chaque classe c et chaque créneau horaire l , la somme des variables $X(t,c,l)$ pour tous les enseignants t est inférieure ou égale à 1, garantissant ainsi une seule classe peut avoir une activités pédagogiques à la fois.

3. L'enseignant fait une activités pédagogiques à la fois :

$$\sum_{c \in C} X_{tcl} \leq 1 \quad \forall l \in \text{slots}, \forall t \in T \quad (3.4)$$

Cette contrainte garantit, à tout moment, chaque enseignant ne peut donner, une seules activités pédagogiques. Cela signifie que pour chaque enseignant t et chaque créneau horaire l , la somme des variables $X(t,c,l)$ pour toutes les classes c est inférieure ou égale à 1, garantissant ainsi, un enseignant ne peut donner, une seules activités pédagogiques à la fois.

4.

$$X_{(t,c,l)} \in \{0,1\} \quad \forall l \in \text{Slots}, \quad \forall t \in T, \quad \forall c \in C \quad (3.5)$$

Cette contrainte garantit que toutes les variables de décision $X(t,c,l)$ sont **binaires**, c'est-à-dire qu'elles prennent des valeurs soit 0 soit 1.

• **Les contraintes de préférences :**

1.

$$X_{(t,c,d*NP+4)} = 0 \quad \forall d \in 1, \dots, ND \quad \forall c \in C \quad \forall t \in T \quad (3.6)$$

Cette contrainte spécifie que le **quatrième créneau horaire de chaque journée**, qui correspond généralement à l'heure du déjeuner, doit être vide pour tous les enseignants et toutes les classes.

2. **Pas d'activités pédagogiques le jeudi :**

$$X_{(t,c,l)} = 0 \quad \forall t \in T \quad \forall c \in C \quad l \in 5*NP, \dots, NP*ND \quad (3.7)$$

3. **Mr E8 n'enseigne pas mardi et mercredi :**

$$X_{(MrE8,c,l)} = 0 \quad \forall l \in 3*NP + 1, \dots, 4*NP \quad \forall c \in C \quad (3.8)$$

$$X_{(MrE8,c,l)} = 0 \quad \forall l \in 4*NP + 1, \dots, 5*NP \quad \forall c \in C \quad (3.9)$$

Ces contraintes garantissent que le professeur **Mr E8** n'enseigne pas pendant les créneaux horaires correspondant à mardi et mercredi pour toutes les classes.

4. **Mr E9 n'enseigne pas samedi, lundi et mardi :**

$$X_{(MrE9,c,l)} = 0 \quad \forall l \in, l + NP * 2 \dots, 3 * NP \quad \forall c \in C \quad (3.10)$$

$$X_{(MrE9,c,l)} = 0 \quad \forall l \in 3 * NP + 1, \dots, 4 * NP \quad \forall c \in C \quad (3.11)$$

Ces contraintes garantissent que le professeur **Mr E9** n'enseigne pas pendant les créneaux horaires correspondant à lundi et mardi pour toutes les classes.

5.

$$X_{(MrE2,c,l)} = 0 \quad \forall l \in 2 * NP + 1, \dots, ND * NP \quad \forall c \in C \quad (3.12)$$

Cela signifie que pour chaque classe c et chaque créneau horaire l en dehors des heures de cours habituelles, l'enseignant **Mr E2** n'enseigne pas.

6.

$$X_{(MrE1,c,l)} = 0 \quad \forall l \in 3 * NP + 1, \dots, ND * NP \quad \forall c \in C \quad (3.13)$$

Cela signifie que pour chaque classe c et chaque créneau horaire l en dehors des heures des activités pédagogiques habituelles, l'enseignant **Mr E1** n'enseigne pas.

7.

$$X_{(MrE5,c,l)} = 0 \quad \forall l \in 1, \dots, NP \quad \forall c \in C \quad (3.14)$$

Cette contrainte signifie que pendant les périodes allant de 1 à NP (qui représentent les premières périodes de la journée ou de la semaine), **Mr E5** ne donnera aucune activités pédagogiques .

8.

$$X_{(MrE5,c,l)} = 0 \quad \forall l \in 1 + NP * 2, \dots, NP * ND \quad \forall c \in C \quad (3.15)$$

Cette contrainte signifie que pendant les périodes allant de $2NP+1$ à $NP*ND$, **Mr E5** ne donnera aucun activités pédagogiques.

9.

$$X_{(MrE7,c,l)} = 0 \quad \forall l \in 1 + NP, \dots, NP * ND \quad \forall c \in C \quad (3.16)$$

Cette contrainte signifie que pendant les périodes allant de $NP+1$ à $NP*ND$, **Mr E7** ne donnera aucun activités pédagogiques.

3.3.5 La fonction Objectif :

Nous cherchons à minimiser le nombre de "le nombre de séance vide" dans les emplois du temps des classes.

$$\min Hole = \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{d=0}^{ND-1} (X_{(t,c,d*NP+1)} + X_{(t,c,(d+1)*NP)}) \quad (3.17)$$

• Instance 2 :

La spécialité de Mathématiques et Informatiques pour la première année est divisée en deux sections : section 1 et section 2. chaque section accueille un certain nombre du groupes et d'étudiants . Le tableau ci-dessous récapitule le nombre total de matière pour chaque section ainsi que le nombre d'enseignants disponibles.

Modules	Séances	Enseignants
ANAL : Analyse.	2	E1, E2, E3, E4, E5, E6
ASD : Algorithme et Structures de Données.	1	E7, E8, E9, E10, E11, E12, E13, E14
ALG : Algèbre.	1	E15, E16, E17, E18, E19
EcoS : écosystèmes	1	E19, E20, E21, E22, E23, E24
SM :Structure machine	1	E25, E26, E27, E28

TABLE 3.3: Les séances et les enseignants disponibles pour chaque matière .

L'objectif : Nous assurons que les travaux dirigés (TD) et les travaux pratiques (TP) seront programmés sur seulement deux jours.

$$\text{NOMBRE}(TD + TP) \leq 2 * NP - 2 \quad (3.18)$$

Le reste des jours sera consacré aux séances de cours et à d'autres activités pédagogiques.

• **variante 2.1 :**

Sous les mêmes contraintes de durée dans la modélisation de l'instance 1, nous ajoutons les contraintes de préférences suivantes :

1.

$$X_{(t,c,d*NP+4)} = 0 \quad \forall d \in 1, \dots, ND \quad \forall c \in C \quad \forall t \in T \quad (3.19)$$

Cette contrainte spécifie que le **quatrième créneau horaire de chaque journée**, qui correspond généralement à l'heure du déjeuner, doit être vide pour tous les enseignants et toutes les classes.

2. **Pas d'activités pédagogiques le mardi :**

$$X_{(t,c,l)} = 0 \quad \forall t \in T \quad \forall c \in C \quad l \in 4*NP, \dots, NP*ND \quad (3.20)$$

3. **Pas d'activités pédagogiques le jeudi :**

$$X_{(t,c,l)} = 0 \quad \forall t \in T \quad \forall c \in C \quad l \in 5*NP, \dots, NP*ND \quad (3.21)$$

• **variante 2.2 :**

En conservant la même modélisation que pour l'instance 1, nous éliminons les contraintes et modifions la structure du fichier de données. Ainsi, nous créons une liste des jours comme suit :

les jours = [Samedi, Dimanche] .

Conclusion

En bref, le chapitre trois met en évidence la complexité de problème d'emploi du temps dans les universités publiques, soulignant l'importance de rationaliser ce processus pour économiser du temps et garantir l'efficacité. L'objectif de l'étude est d'améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources en employant des fonctions mathématiques et des méthodes d'optimisation, tout en répondant aux besoins des différents acteurs concernés. Cependant, la difficulté se renforce au fur et à mesure de l'évolution de l'institution et de la mise en place de contraintes supplémentaires. Malgré la présence de solutions, l'efficacité et la précision peuvent diminuer à mesure que le nombre de cours et de classes augmente.

4

IMPLÉMENTATION ET RÉSULTATS

Introduction

L'objectif de ce chapitre est de mettre en œuvre pratiquement le modèle de planification en utilisant l'outil de résolution "FICO Xpress" qui améliore l'efficacité du processus de création des emplois du temps. Nous examinerons comment convertir notre modèle théorique en une solution pratique en utilisant cet outil d'optimisation sophistiqué. Nous présenterons l'efficacité et la possibilité de FICO Xpress pour résoudre notre problème d'organisation dans un contexte concret. La structure de ce chapitre est divisée en deux parties : la première partie concerne sur la description de notre logiciel, tandis que la seconde partie se concentre sur l'implémentation et les résultats.

4.1 Solver d'optimisation :

*La suite d'optimisation **FICO Xpress** est un cadre puissant pour l'optimisation mathématique, adapté à une large gamme de problèmes. Son cœur, le FICO Xpress Optimiser, allie faciliter d'utilisation, rapidité et flexibilité. Il peut être utilisé via la console de commande, une interface graphique (IVE) ou une bibliothèque callable accessible depuis toutes les principales plateformes de programmation. Il offre des fonctions d'accès flexibles aux données et des algorithmes de pointe permettant de gérer des problèmes de plus en plus complexes dans l'industrie et le milieu académique. L'un des principaux intérêts pour les utilisateurs de la bibliothèque est l'intégration des fonctionnalités de l'optimiser dans leurs propres applications. Les interfaces de programmation disponibles incluent C/C++, .NET et Java. Les spécifications des interfaces sont principalement fournies en C/C++, mais des courts exemples d'utilisation dans d'autres langues sont disponibles dans le manuel de démarrage rapide de FICO Xpress[33].*

4.1.1 Le langage :

Le langage **Mosel** peut être considéré à la fois comme un langage de modélisation et un langage de programmation. Comme d'autres langages de modélisation, il offre les fonctionnalités nécessaires pour déclarer et manipuler des problèmes, des variables de décision, des contraintes ainsi que divers types de données et de structures telles que des ensembles et des tableaux. Ces propriétés font de Mosel un langage puissant de modélisation, de programmation et de résolution, avec lequel il est possible d'écrire des algorithmes de solution complexes[32].

La syntaxe de Mosel a été conçue pour être facile à apprendre.

4.2 Description de notre logiciel :

4.2.1 Structure de base d'un modèle Mosel :

Un modèle Mosel est généralement structuré avec les sections suivantes :

1. *déclaration des ensembles et des paramètres* : Un paramètre de modèle est un symbole dont la valeur peut être déterminée juste avant l'exécution du modèle, Le bloc de paramètres est structuré de la manière suivante[30] :

```
parameters
  size=12      ! Integer parameter
  R=12.67     ! Real parameter
  F="myfile"   ! Text string parameter
  B=true      ! Boolean parameter
end-parameters
```

FIGURE 4.1: déclaration des ensembles et des paramètres[30].

2. *Déclaration des variables de décision* : Utilisez "déclarations" pour déclarer les variables de décision[30].

```
declarations
  i,j: integer
  str: string
  x,y,z: mpvar
end-declarations
```

FIGURE 4.2: déclaration des variables de décision[30].

3. *Définition de la fonction objectif* : Utilisez "maximize" ou "minimize" pour définir la fonction objectif.

```
! Definition of the objective function
maximize(obj)= 3*x + 5*y + 2*z
```

FIGURE 4.3: Définition de la fonction objectif.

4. *Déclaration des variables de décision : Utilisez "déclarations" pour déclarer les variables de décision.*

```
! Adding constraints using parameters
x + 2 *y + 3*z |<= param1
4*x + y+2*z <= param2
```

FIGURE 4.4: Déclaration des variables de décision.

5. *les Commentaires : Les commentaires sont précédés par "!"*.

```
! Definition of the objective function
! Create the flow variables
! Solve the problem
```

FIGURE 4.5: Syntaxe des commentaires.

6. *les instructions "forall" :utiliser les boucles "forall" pour imposer des contraintes et initialiser des variables dans un modèle d'optimisation FICO Xpress[30].*

```
forall(f in FAC, t in TIME)
  make(f,t) = MAXCAP(f,t)

forall(t in TIME) do
  use(t) = MAXUSE(t)
  buy(t) = MAXBUY(t)
```

FIGURE 4.6: Les instructios "Forall"[30].

7. *Syntaxe des opérateurs :*

```

standard:      + - * /
power:         ^
int. division/remainder: mod div
sum:           sum(i in 1..10) ...
product:       prod(i in 1..10) ...
minimum/maximum: min(i in 1..10) ...

```

FIGURE 4.7: Opérateurs arithmétiques[34] .

```

constants:    true, false
standard:     and, or, not
AND:          and(i in 1..10) ...
OR:           or(i in 1..10) ...
comparison:   <, >, =, <>, <=, >=

```

FIGURE 4.8: Opérateurs logiques[34].

```

{1,2,3}+{4,5,6}-(5..8)*{6,10}      != {1,2,3,4,5}
{'a','b','c'}*{'b','c','d'}       != {'b','c'}
union(i in 1..4|i<>2) {i*3}        != {3,9,12}
inter(i in [2,3]) union(j in 1..10) {i*j} != {6,12,18}

```

FIGURE 4.9: Définir les expressions[30].

8. Types de base :

est le genre de variable, l'un des quatre types ci-dessous :

- **Les variables entières** : désignent les variables de décision qui ont des valeurs entières.
- **Les variables binaires** : sont des variables de décision qui ont une valeur de 0 ou 1, parfois connues sous le nom de variables 0/1.
- **booléen** : l'expression logique d'une expression booléenne. Une entité booléenne peut avoir une valeur soit le symbole vrai, soit le symbole faux.
- **ensemble de caractères** : un texte[30].

4.2.2 Structures de données :

Les structures de données sont des composants essentiels qui permettent d'organiser et de stocker les données de manière efficace en mémoire. Elles optimisent la gestion et la manipulation des données, facilitant ainsi des opérations rapides d'accès, d'insertion et de suppression.

Parmi les structures de données courantes, on trouve **les tableaux, les matrices, les listes chaînées, les arbres et les graphes**. Chacune de ces structures répond à des besoins spécifiques en fonction des exigences du problème à résoudre. Comprendre les structures de données est fondamental pour concevoir des algorithmes efficaces et optimiser les performances des logiciels[31].

- **Types de structures de données :**

- **Structures de données non linéaires :**

Arbre : Structure hiérarchique où chaque nœud peut avoir plusieurs nœuds enfants.

Graphe : Collection de nœuds connectés par des arêtes, représentant les relations entre les éléments de données[31].

- **Structures de données linéaires :**

Tableau : Collection d'éléments de même type stockés dans des emplacements de mémoire contigus.

Liste chaînée : Collection d'éléments reliés par des pointeurs, permettant l'insertion et la suppression dynamiques.

Matrice : Une matrice est un tableau en deux dimensions qui présente des éléments disposés en lignes et en colonnes. Elle est constituée d'une grille rectangulaire, chaque élément se trouvant à l'intersection d'une ligne et d'une colonne[31].

4.2.3 Résolution et visualisation de la solution :

Pour exécuter notre modèle dans FICO Xpress, suivez les étapes suivantes : Sélectionner "RUN" Dans l'interface utilisateur de FICO Xpress, allez dans le menu et choisissez l'option "RUN".

Cliquer sur le bouton "RUN" : Une fois l'option "RUN" sélectionnée, cliquez sur le bouton "RUN" pour lancer le modèle. Après l'exécution réussie de notre modèle, l'écran affichera les résultats , les valeurs des contraintes, et la valeur de la fonction objective seront présentées de manière claire, permettant une analyse approfondie des résultats.

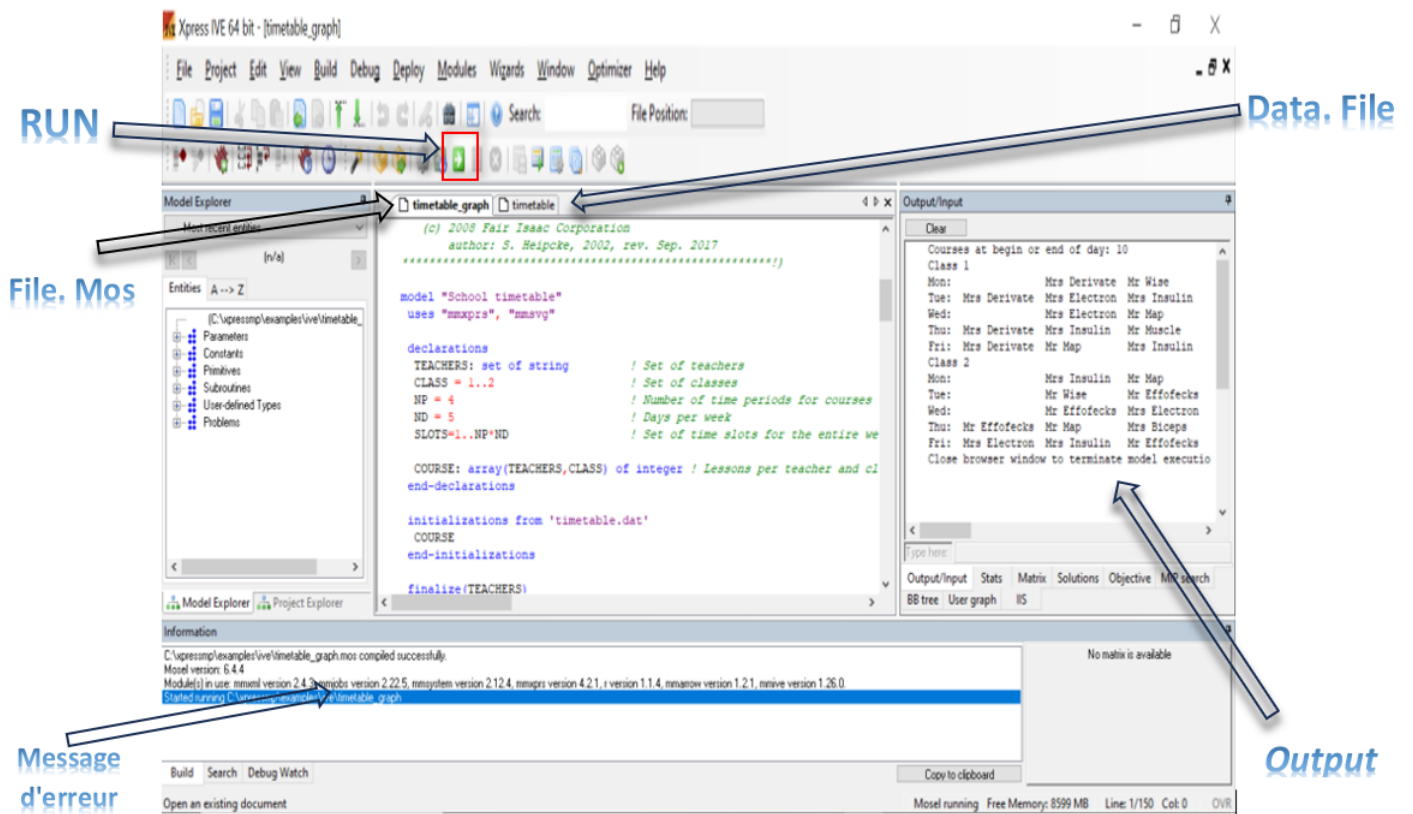


FIGURE 4.10: Affichage des entités.

Nous avons illustré nos résultats en adoptant deux instances réelles fournies par le département de recherche opérationnelle. La première instance comporte 2 classes de Master 1 et Master 2, 15 modules et 10 formateurs, tandis que la deuxième instance comporte 1 promotion, 7 modules et 28 formateurs. Dans la deuxième instance, nous avons alloué 2 jours pour étudier les cours, donc l'emploi du temps de cette instance est réservé aux TD et TP.

4.3 Implémentation de L'instance 1 :

Nous allons présenter ce modèle d'emploi du temps conçu spécifiquement pour la première instance. Ce modèle permet d'organiser les horaires des activités pédagogiques et d'attribuer les enseignants de manière efficace sur toute la semaine, Les données des cours sont chargées depuis un fichier externe "data".et le modèle génère des emplois du temps en format texte et graphique, facilitant la vérification et la visualisation. Ce modèle est un outil précieux pour gérer les ressources éducatives de manière équitable et structurée pour la première promotion.

- Le fichier de donnée :

```

! Data file for `timetable_graph'

COURSE: [ ("Mr FILLALI" 1)      0 6
           ("Mr ZOUACHE" 1)     0 5
           ("Mr BRAHMI" 1)      0 3
           ("Mr RAMDANI" 1)     3 3
           ("Mr TOUATI" 1)      3 0
           ("Mr NAILI" 1)       2 0
           ("Mr GHEBOULI" 1)    2 1
           ("Mr SAIFI" 1)       2 0
           ("Mr BARKAT" 1)      1 1
           ("Mr MAACHE" 1)      2 0
           ("Mr SAHA" 1)       1 0]

days: ["SAT" "SUN" "MON" "TUE" "WED" "THU"]

```

- Le modèle "Mosel" :

```

model "School timetable"
uses "mmsxprs", "mmsvg", "advmod"

declarations
  TEACHERS: set of string           ! Set of teachers
  CLASS = 1..2                      ! Set of classes
  NP = 6                             ! Number of time periods for courses
  ND = 6                             ! Days per week
  SLOTS=1..NP*ND                    ! Set of time slots for the entire week

  COURSE: array(TEACHERS,CLASS) of integer ! Lessons per teacher and class
end-declarations

initializations from 'timetable.dat'
  COURSE
end-initializations

finalize(TEACHERS)

declarations
  teach: array(TEACHERS,CLASS,SLOTS) of mpvar
           ! teach(t,c,l) = 1 if teacher t gives a
           ! lesson to class c during time period l
end-declarations

! Objective: number of "holes" in the class timetables
Hole:=
  sum(t in TEACHERS, c in CLASS, d in 0..ND-1) (teach(t,c,d*NP+1) +
  teach(t,c,(d+1)*NP))

```

```

! Plan all courses
forall(t in TEACHERS, c in CLASS)
  PlanAll(t,c) := sum(l in SLOTS) teach(t,c,l) = COURSE(t,c)

! For every class, one course at a time
forall(c in CLASS, l in SLOTS)
  OneCourseClass(c,l) := sum(t in TEACHERS) teach(t,c,l) <= 1

! Teacher teaches one course at a time
forall(t in TEACHERS, l in SLOTS)
  OneCourseTeacher(t,l) := sum(c in CLASS) teach(t,c,l) <= 1

! Mr.FILLALI does not teach on Tuesday and Wednesday
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
forall(c in CLASS,l in 3*NP+1..NP*4) teach("Mr FILLALI",c,l) = 0
forall(c in CLASS,l in 4*NP+1..NP*5) teach("Mr FILLALI",c,l) = 0

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
! Mr.ZOUACHE does not teach on Monday and Tuesday
forall(c in CLASS, l in 2*NP+1..NP*3) teach("Mr ZOUACHE",c,l) = 0
forall(c in CLASS,l in 3*NP+1..NP*4) teach("Mr ZOUACHE",c,l) = 0
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

! Mr.TOUATI does not teach from Tuesday to the end of the week
forall(c in CLASS,l in 2*NP+1..NP*ND) teach("Mr TOUATI",c,l) = 0

!Mr.GHEBOULI does not teach from Wednesday to the end of the week
forall(c in CLASS,l in 3*NP+1..NP*ND) teach("Mr GHEBOULI",c,l) = 0

!Mr.SAIFI Does not teach at the start of the week
forall(c in CLASS,l in 1..NP) teach("Mr SAIFI",c,l) = 0

!Mr.SAIFI does not teach from Tuesday to the end of the week
forall(c in CLASS,l in 2*NP+1..NP*ND) teach("Mr SAIFI",c,l) = 0

!Mr. NAILI does not teach from Tuesday to the end of the week
forall(c in CLASS,l in NP+1..NP*ND) teach("Mr NAILI",c,l) = 0

!TIME of lunch 4th period of the day

forall(t in TEACHERS, c in CLASS, d in 0..ND-1) teach(t,c,d*6+4)=0

!No courses on THURSDAY
forall(t in TEACHERS, c in CLASS, l in 5*NP..NP*ND) teach(t,c,l)=0

forall(t in TEACHERS, c in CLASS, l in SLOTS) teach(t,c,l) is_binary

! Solve the problem
minimize(Hole)

```

CLASSE 1 :

	8 :00/9 :30	9 :30/11 :00	11 :00/12 :30	12 :30/14 :00	14 :00/15 :30	15 :30/17 :00
SAMEDI	Mr NAILI	Mr TOUATI	Mr TOUATI		Mr NAILI	
DIMANCE	Mr SAIFI	M.GHEBOULI	M.GHEBOULI		Mr TOUATI	Mr SAIFI
LUNDI						
MARDI		Mr MAACHE	Mr MAACHE		Mr BARKAT	
MERCREDI	Mr SAHA	M.RAMDANI	M.RAMDANI		M.RAMDANI	
JEUDI						

TABLE 4.1: imprime l'emploi du temps de classe 1.

classe 2 :

	8 :00/9 :30	9 :30/11 :00	11 :00/12 :30	12 :30/14 :00	14 :00/15 :30	15 :30/17 :00
SAMEDI	M.ZOUACHE	M.FILLALI	M.RAMDANI		Mr FILLALI	M.ZOUACHE
DIMANCE	M.FILLALI	M.FILLALI	M.FILLALI		Mr TOUATI	M.FILLALI
LUNDI						
MARDI	M.BRAHMI	M.RAMDANI	M.BRAHMI		M.GHEBOULI	M.BRAHMI
MERCREDI	M.ZOUACHE	M.ZOUACHE	M.ZOUACHE		M.BARKAT	
JEUDI						

TABLE 4.2: imprime l'emploi du temps de classe 1.

• **Visualisation de la solution :**

affiche l'emploi du temps sous forme graphique, offrant ainsi une représentation visuelle claire.



FIGURE 4.11: L'emploi du temps pour l'instance 1.

4.4 Implémentation de L'instance 2 :

Nous allons présenter ce modèle d'emploi du temps conçu spécifiquement pour la deuxième instance, et nous avons adopté la variante 2.2 pour le résoudre.

- Le fichier de donnée pour section 1 :

```

! Data file for 'timetable.mos'

COURSE: [ ("Mr X1" 1)  2 0 2 0 0 0 0
           ("Mr X2" 1)  0 2 0 2 0 2 0
           ("Mr X3" 1)  0 0 0 0 2 0 2
           ("Mr X4" 1)  0 0 1 1 0 1 1
           ("Mr X5" 1)  1 1 0 1 0 1 0
           ("Mr X6" 1)  0 0 1 0 1 0 1
           ("Mr X7" 1)  1 1 0 0 1 0 0
           ("Mr X8" 1)  1 0 0 1 0 1 1
           ("Mr X9" 1)  0 1 1 0 1 0 0
           ("Mr X10" 1) 0 0 0 1 0 0 0
           ("Mr X11" 1) 0 0 0 0 1 1 0
           ("Mr X12" 1) 1 1 1 0 0 0 1
           ("Mr X13" 1) 1 0 0 1 1 1 1
           ("Mr X14" 1) 0 1 1 0 0 0 0

           ]

days: [ "SUN" "MON"]

```

- Le modèle "Mosel" :

```

model "School timetable"
uses "mmxprs", "mmsvg", "advmod"

declarations
TEACHERS: set of string           ! Set of teachers
CLASS = 1..7                      ! Set of classes
NE=10
NP = 6                            ! Number of time periods for courses
ND = 2                            ! Days per week
SLOTS=1..NP*ND                    ! Set of time slots for the entire week

COURSE: array(TEACHERS,CLASS) of integer ! Lessons per teacher and class
end-declarations

initializations from 'timetable.dat'
COURSE
end-initializations

finalize(TEACHERS)

declarations
teach: array(TEACHERS,CLASS,SLOTS) of mpvar
! teach(t,c,l) = 1 if teacher t gives a
! lesson to class c during time period l
end-declarations

! Objective: number of "holes" in the class timetables
Hole:=
sum(t in TEACHERS, c in CLASS, d in 0..ND-1) (teach(t,c,d*NP+1) +
teach(t,c,(d+1)*NP))

```

```

! Plan all courses
forall(t in TEACHERS, c in CLASS)
PlanAll(t,c) := sum(l in SLOTS) teach(t,c,l) = COURSE(t,c)

! For every class, one course at a time
forall(c in CLASS, l in SLOTS)
OneCourseClass(c,l) := sum(t in TEACHERS) teach(t,c,l) <= 1

! Teacher teaches one course at a time
forall(t in TEACHERS, l in SLOTS)
OneCourseTeacher(t,l) := sum(c in CLASS) teach(t,c,l) <= 1

!TIME of lunch 4th period of the day

forall(t in TEACHERS, c in CLASS, d in 0..ND-1) teach(t,c,d*NP+4)=0

forall(t in TEACHERS, c in CLASS, l in SLOTS) teach(t,c,l) is_binary

! Solve the problem
minimize(Hole)

```

Résultat de section 1 :

	8 :00/9 :30	9 :30/11 :00	11 :00/12 :30	12 :30/14 :00	14 :00/15 :30	15 :30/17 :00
DIMANCE	Mr X12	Mr X1	Mr X13		Mr X7	
LUNDI		Mr X1	Mr X8		Mr X5	

TABLE 4.3: imprime l'emploi du temps de classe 1.

	8 :00/9 :30	9 :30/11 :00	11 :00/12 :30	12 :30/14 :00	14 :00/15 :30	15 :30/17 :00
DIMANCE		Mr X9	Mr X14		Mr X12	
LUNDI	Mr X5	Mr X2	Mr X2		Mr X7	

TABLE 4.4: imprime l'emploi du temps de classe 2.

	8 :00/9 :30	9 :30/11 :00	11 :00/12 :30	12 :30/14 :00	14 :00/15 :30	15 :30/17 :00
DIMANCE		Mr X6	Mr X1		Mr X1	
LUNDI	Mr X4	Mr X14	Mr X9		Mr X12	

TABLE 4.5: imprime l'emploi du temps de classe 3.

	8 :00/9 :30	9 :30/11 :00	11 :00/12 :30	12 :30/14 :00	14 :00/15 :30	15 :30/17 :00
DIMANCE		Mr X4	Mr X2		Mr X2	Mr X5
LUNDI		Mr X10	Mr X13		Mr X8	

TABLE 4.6: imprime l'emploi du temps de classe 4.

	8 :00/9 :30	9 :30/11 :00	11 :00/12 :30	12 :30/14 :00	14 :00/15 :30	15 :30/17 :00
DIMANCE		Mr X3	Mr X9		Mr X3	
LUNDI		Mr X7	Mr X11		Mr X6	Mr X13

TABLE 4.7: imprime l'emploi du temps de classe 5.

	8 :00/9 :30	9 :30/11 :00	11 :00/12 :30	12 :30/14 :00	14 :00/15 :30	15 :30/17 :00
DIMANCE		Mr X2	Mr X5	Mr X11	Mr X11	Mr X13
LUNDI		Mr X8	Mr X4		Mr X2	

TABLE 4.8: imprime l'emploi du temps de classe 6.

	8 :00/9 :30	9 :30/11 :00	11 :00/12 :30	12 :30/14 :00	14 :00/15 :30	15 :30/17 :00
DIMANCHE		Mr X13	Mr X3		Mr X8	
LUNDI		Mr X3	Mr X12		Mr X4	Mr X6

TABLE 4.9: imprime l'emploi du temps de classe 7.

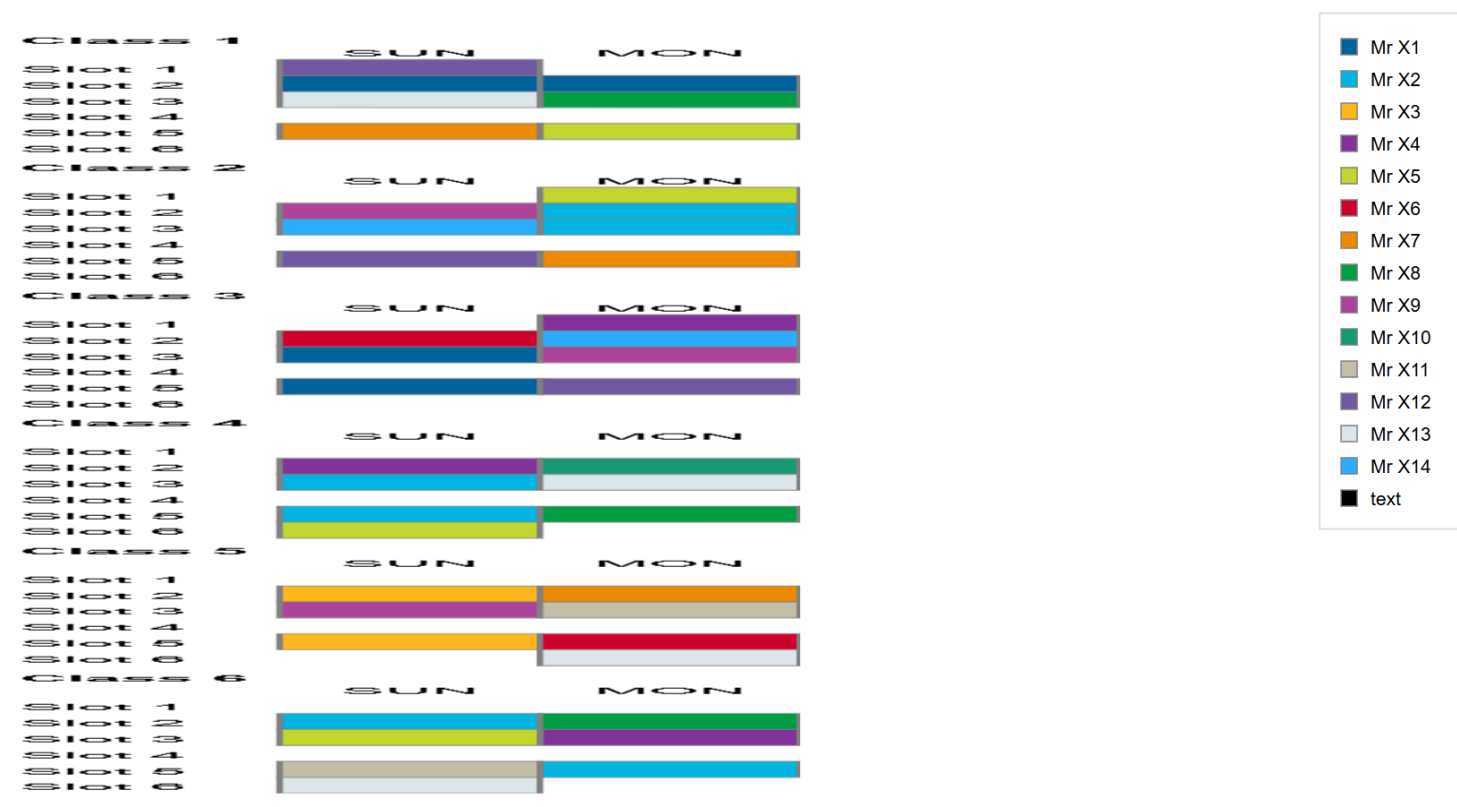


FIGURE 4.12: L'emploi du temps pour la section 1.

• Le fichier de donnée pour section 2 :

```
! Data file for 'timetable.mos'

COURSE: [ ("Mr X15" 1)  0 0 0 0 0 2 2
          ("Mr X16" 1)  2 2 0 0 0 0 0
          ("Mr X17" 1)  0 0 2 2 2 0 0
          ("Mr X18" 1)  0 1 0 1 1 0 1
          ("Mr X19" 1)  1 0 1 1 0 0 0
          ("Mr X20" 1)  0 0 1 0 0 1 1
          ("Mr X21" 1)  1 1 1 0 0 1 0
          ("Mr X22" 1)  1 0 1 1 0 0 0
          ("Mr X23" 1)  0 1 0 0 1 1 1
          ("Mr X24" 1)  0 0 0 1 0 1 0
          ("Mr X25" 1)  1 1 1 0 0 0 0
          ("Mr X26" 1)  0 0 0 0 1 0 1
          ("Mr X27" 1)  0 0 1 1 0 1 0
          ("Mr X28" 1)  1 1 0 0 1 0 1 ]

days: [ "wedn" "thur" ]
```

• Le modèle "Mosel" :

(le même de la section 1)

Résultat de section 2 :

(Le résultat de la section 2 est plus conforme à celui de la section 2.)

	8 :00/9 :30	9 :30/11 :00	11 :00/12 :30	12 :30/14 :00	14 :00/15 :30	15 :30/17 :00
Mercredi	Mr X26	Mr X15	Mr X27		Mr X21	
Jeudi		Mr X15	Mr X22		Mr X19	

imprime l'emploi du temps de classe 8.

	8 :00/9 :30	9 :30/11 :00	11 :00/12 :30	12 :30/14 :00	14 :00/15 :30	15 :30/17 :00
Mercredi		Mr X23	Mr X28		Mr X26	
Jeudi	Mr X19	Mr X16	Mr X16		Mr X21	

imprime l'emploi du temps de classe 9.

	8 :00/9 :30	9 :30/11 :00	11 :00/12 :30	12 :30/14 :00	14 :00/15 :30	15 :30/17 :00
Mercredi		Mr X20	Mr X15		Mr X15	
Jeudi	Mr X18	Mr X28	Mr X23		Mr X26	

imprime l'emploi du temps de classe 10.

	8 :00/9 :30	9 :30/11 :00	11 :00/12 :30	12 :30/14 :00	14 :00/15 :30	15 :30/17 :00
Mercredi		Mr X18	Mr X16		Mr X16	Mr X19
Jeudi		Mr X24	Mr X27		Mr X22	

imprime l'emploi du temps de classe 11.

	8 :00/9 :30	9 :30/11 :00	11 :00/12 :30	12 :30/14 :00	14 :00/15 :30	15 :30/17 :00
Mercredi		Mr X17	Mr X23		Mr X17	
Jeudi		Mr X21	Mr X25		Mr X20	Mr X27

imprime l'emploi du temps de classe 12.

	8 :00/9 :30	9 :30/11 :00	11 :00/12 :30	12 :30/14 :00	14 :00/15 :30	15 :30/17 :00
Mercredi		Mr X16	Mr X19		Mr X25	Mr X27
Jeudi		Mr X22	Mr X18		Mr X16	

imprime l'emploi du temps de classe 13.

	8 :00/9 :30	9 :30/11 :00	11 :00/12 :30	12 :30/14 :00	14 :00/15 :30	15 :30/17 :00
Mercredi		Mr X27	Mr X17		Mr X22	
Jeudi		Mr X17	Mr X26		Mr X18	Mr X20

imprime l'emploi du temps de classe 14.

Perspectives : Le cas multi-objectif :

Les résultats obtenus jusqu'ici concerne le modèle mono objectif, qui vise de minimiser le nombre de séances vides tout respectant certaines contraintes. L'optimisation multi-objectif de le emploi du temps est une tâche complexe qui vise à trouver le meilleur compromis entre plusieurs objectifs conflictuels. Notre étude peut s'améliorer en ajoutant d'autres fonctions objectives, afin de rendre le problème de l'emploi du temps mono objectif. On peut ajouter par exemple un 2ième objectif qui vise de minimiser le nombre de salles nécessaires pour assurer toutes les activités pédagogiques. Pour rester conformes avec le modèle initial, nous proposons les modifications suivantes :

Objectif 2 : Minimiser le nombre des salles utilisées

Variable de décision :

$X(t, c, l, s)$

- t : Enseignants.
- c : Classes.
- s : Salles.

Fonction objectif :

Minimiser NBSALLES

$$NBSALLES = \sum_{s \in SALLES} \sum_{t \in TEACHERS} \sum_{c \in CLASSES} \sum_{l \in SLOTS} X(t, c, l, s)$$

Contraintes :

1. Planification de toutes les activités pédagogiques :

$$\forall t \in TEACHERS, \forall c \in CLASSES$$

$$PlanAll(t, c) : \sum_{l \in SLOTS} \sum_{s \in SALLES} X(t, c, l, s) = COURSE(t, c)$$

2. Une seule activité par salle à un moment donné :

$$\forall c \in CLASSES, \forall l \in SLOTS, \forall s \in SALLES$$

$$OneCourseClass(c, l, s) : \sum_{t \in TEACHERS} X(t, c, l, s) \leq 1$$

3. Un enseignant ne peut enseigner qu'une seule classe à la fois :

$$\forall t \in TEACHERS, \forall l \in SLOTS, \forall s \in SALLES$$

$$OneCourseTeacher(t, l, s) : \sum_{c \in CLASSES} X(t, c, l, s) \leq 1$$

4. Une classe ne peut être assignée qu'à une seule salle à un moment donné :

$$\forall t \in TEACHERS, \forall c \in CLASSES, \forall l \in SLOTS$$

$$OneClassroom(t, c, l) : \sum_{s \in SALLES} X(t, c, l, s) \leq 1$$

Objectif 3 : Minimiser le nombre d'enseignants requis

Fonction objectif :

$$NBENSEIGN = \sum_{t \in TEACHERS} \sum_{s \in SALLES} \sum_{c \in CLASSES} \sum_{l \in SLOTS} X(t, c, l, s)$$

Objectif 4 : Minimiser le nombre de projecteurs (data shows) nécessaires

Variables :

— *NBDATASHOWS* : Nombre de projecteurs disponibles (entre 1 et 10)

— *projector(s, l)* : Utilisation d'un projecteur dans la salle s à la plage horaire l

Fonction objectif :

$$MinDATASHOW = \sum_{s \in SALLES} \sum_{l \in SLOTS} projector(s, l)$$

Contraintes supplémentaires :

1. Une seule activité pédagogique par salle à un moment donné :

$$\forall c \in COURSES, \forall l \in SLOTS$$

$$OneRoomAtTime(c, l) : \sum_{s \in SALLES} course(c, s, l) \leq 1$$

2. Chaque activité programmée dans une salle nécessite un projecteur :

$$\forall c \in COURSES, \forall s \in SALLES, \forall l \in SLOTS$$

$$DATASHOWUse(c, s, l) : course(c, s, l) \leq DATASHOW(s, l)$$

Ces formulations permettent de définir les objectifs de minimisation ainsi que les contraintes nécessaires pour optimiser la planification des activités pédagogiques dans les salles, tout en minimisant le nombre de projecteurs requis.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a souligné l'utilisation concrète du modèle de planification développé auparavant en utilisant l'outil de résolution FICO XPress. Nous avons prouvé l'efficacité et la faisabilité de cet outil sophistiqué dans la résolution de notre problème d'organisation en transformant le modèle théorique en une solution concrète. Nous avons pu concevoir, gérer et mettre en œuvre des modèles d'emploi du temps pour les cours universitaires en utilisant FICO XPress Mosel et l'environnement visuel interactif XPressIVE. En analysant les résultats pour l'instance 1 et l'instance 2, il a été possible de remarquer la pertinence et la précision de la solution obtenue, mettant ainsi en évidence l'importance de cet outil pour résoudre de manière pratique des problèmes d'organisation. En conclusion, ce chapitre a mis en évidence l'apport de FICO XPress dans la planification et la gestion des emplois du temps universitaires, ce qui ouvre la voie à des applications plus étendues dans différents domaines de l'optimisation et de la gestion.

Conclusion générale

Cette thèse a présenté une solution novatrice et efficace aux défis de l'organisation des emplois du temps universitaires en adoptant un modèle de programmation en nombres entiers. L'étude menée à l'université BBA a démontré que ce modèle peut trouver un équilibre parfait entre les multiples contraintes et les exigences diverses des parties prenantes de l'éducation, y compris les étudiants, les enseignants et l'administration. En utilisant la programmation mathématique, il est possible de traduire les exigences et les préférences des utilisateurs en équations mathématiques résolubles, permettant ainsi d'améliorer le processus d'allocation des ressources telles que les salles de classe et les horaires de manière précise et efficace. Cette approche ne fournit pas seulement une solution optimale, mais elle démontre également son efficacité et sa flexibilité pour faire face aux changements et aux nouveaux défis dans le domaine de l'éducation. Les résultats obtenus dans cette thèse montrent que l'utilisation de la programmation en nombres entiers n'est pas seulement possible, mais qu'elle améliore également la qualité des services éducatifs en réduisant considérablement le temps et les efforts nécessaires pour élaborer les emplois du temps. Ces améliorations contribuent à fournir un environnement éducatif meilleur et plus organisé, ce qui se reflète positivement sur l'expérience d'apprentissage des étudiants et la performance des enseignants.

Ces résultats encouragent l'adoption de solutions similaires dans d'autres institutions éducatives, où le même modèle peut être appliqué pour améliorer l'efficacité de la planification et de la gestion dans divers domaines. De plus, cette thèse ouvre la voie à de futures recherches visant à développer et à améliorer ces méthodes pour répondre aux différents contextes et défis auxquels les institutions éducatives pourraient être confrontées. On s'attend à ce que ces recherches contribuent à renforcer la flexibilité des modèles et à améliorer leur capacité à s'adapter rapidement aux changements dans le domaine de l'éducation, en faisant d'eux des outils plus puissants et plus inclusifs pour la gestion des opérations éducatives.

En conclusion, cette étude démontre que le progrès technologique et mathématique peut jouer un rôle crucial dans la résolution des problèmes complexes liés à l'organisation des emplois du temps, tout en améliorant l'efficacité et la qualité du processus éducatif dans son ensemble.

Résumé

Cet article explore les défis de la planification horaire en mettant l'accent sur la gestion du temps dans les emplois du temps des cours universitaires. Des tests ont été réalisés sur différents ensembles de données à l'aide d'un solveur de programmation (FICO Xpress), démontrant des résultats encourageants pour les problèmes. Cependant, il était nécessaire de simplifier la formulation pour améliorer le temps de calcul et la qualité de la solution pour les problèmes de taille moyenne à grande. En résumé, cet article met en lumière l'importance continue de rechercher de nouvelles approches pour relever le défi crucial de la planification horaire dans les universités.

Mots clés : Emploi du temps , Fico Xpress , Planification , Ordonnancement , Programmation linéaire

Abstract

This thesis explores the challenges of timetable planning, focusing on time management in university course timetables. Tests were carried out on different datasets using a programming solver (FICO Xpress), showing encouraging results for the problems. However, it was necessary to simplify the formulation in order to improve the computation time and the quality of the solution for difficulties of medium to large size. In summary, this paper highlights the continuing importance of seeking new approaches to the crucial challenge of timetabling in universities.

keywords : timetable , Fico Xpress , planning , scheduling , linear programming .

الملخص

تستكشف هذه المقالة تحديات تخطيط الجداول الزمنية، مع التركيز على إدارة الوقت في الجداول الزمنية للمقررات الدراسية الجامعية. وقد أجريت اختبارات على مجموعات بيانات مختلفة باستخدام أداة حل البرمجة (فيكو اكسبرس)، وأظهرت نتائج مشجعة للمشاكل. ومع ذلك، كان من الضروري تبسيط الصيغة من أجل تحسين وقت الحساب وجودة الحل للمشاكل المتوسطة والكبيرة. وخلاصة القول، تسلط هذه الورقة الضوء على الأهمية المستمرة للبحث عن نهج جديدة لمواجهة التحدي الحاسم المتمثل في جدولة الوقت في الجامعات.

الكلمات المفتاحية: الجدول الزمني فيكو إكسبرس. التخطيط. الجدولة، البرمجة

الخطية

Bibliographie

- [1] Raymond-Alain Thiétart, *Le management*, Presses Universitaires de France, 2017.
- [2] Gotha, *les problèmes d'ordonnancement*, Recherche opérationnelle/Opérations Research (vol. 27, n° 1, 1993, p. 77 à 150).
- [3] https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9orie_d%27ordonnancement.
- [4] NOUIOUA AFRAH, *méthode de décomposition pour le problème de planification d'emplois du temps*.
- [5] De Werra D, *An introduction to time tabling*, European Journal of Operational Research, 1985.
- [6]] *Applications of optimization with Xpress-MP*, by Christelle Guéret, Christian Prins, Marc Sevaux © 2000 Editions Eyrolles, Paris, France.
- [7]] C.BENTZ, *TP de programmation linéaire : introduction à CPLEX*, université Paris-Sud, 2007-2008.
- [8] (Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem) 2012/2013. *Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Licence en Informatique Thème Réalisation d'une application de la gestion des emplois du temps pour un département technique*.
- [9] Hendi Nihad, Bouchakour Moussa Lamia, *Approche de coloration pour la gestion d'emploi du temps*, Mémoire de fin de cycle, université de BLIDA 1, 2019/2020.
- [10] H. Babaei, J. Karimpour, and A. Hadidi, "A survey of approaches for university course timetabling problem,".
- [11] H. E. Nouri and O. Belkahla, *Résolution multi-agents du problème d'emploi du temps universitaire*. Editions universitaires européennes, 2015 .
- [12] *La programmation linéaire ressources - Recherche (bing.com)*.
- [13] Dr. BAHMANI Younes, *Généralité sur la Recherche Opérationnelle*, Université Batna 2.
- [14] Mani Chaima, *le problème de planification d'emploi du temps des examen avec la coloration de graphes*, Mémoire de fin de cycle ,université de Bordj Bou Arreridj 2019/2020.
- [15] Mme Troudi Fatiha *Résolution du problème de l'emploi du temps : proposition d'un algorithme évolutionnaire multi-objectif*, mémoire présenté pour l'obtention du diplôme du magister en informatique, Université Mentouri Constantine, 2005.
- [16] BOUKELMOUNE Houssam, *Métaheuristique à base de populations appliquée à la génération d'un emploi du temps d'un département à l'université*. Université Mohammed Seddik Ben Yahia de Jijel, 2021.
- [17] *Coloration de graphe*. Wikipédia. [En ligne] https://fr.wikipedia.org/wiki/Coloration_d%27un_graphe.
- [18] Gotlib, C. C. *The construction of class-teacher timetables*. Proceedings of IFIP Congress. 1963. pp. 73- 77.

- [19] Yuan Yao, *A Mixed-Integer Linear Programming Model for University Course Timetabling Problems*, Wageningen University - Department of Social Sciences, April 2023.
- [20] Bendada Meriem , Addou Narimane Batou . *Gestion des Emplois du Temps -Approche Graphique*, 2015-2016.
- [21] Hillier, F. S., Lieberman, G. J. (2015). *Introduction to Operations Research*. McGraw-Hill Education.
- [22] Winston, W. L. (2004). *Operations Research : Applications and Algorithms*. Cengage Learning.
- [23] Burke, E. K. and S. Petrovic (Accepted for publication in 2002). *Recent research directions in automated timetabling*, *European Journal of Operational Research*.2002.
- [24] Thierry Moyaux, Brahim Chaib-draa et Sophie D'Amours. *Satisfaction distribuée de contraintes et son application à la génération d'un emploi du temps d'employés*. 2003.
- [25] Dupont, J. (2024). *Les 10 secrets de la réussite professionnelle*.
- [26] Houssein Eddine Nouri, Olfa Belkahla Driss ,*Résolution multi-agents du problème d'emploi du temps universitaire* January 2015.
- [27] H. Gahgah, "Problème d'emploi de temps : proposition un algorithme bio-inspiré," *Ph.D. dissertation, FACULTE DES MATHÉMATIQUES ET DE L'INFORMATIQUE DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE*, 2018.
- [28] Hamed Babaei, Jaber Karimpour , Amin Hadidi , " A survey of approaches for university course timetabling problem ,2014.
- [29] *Faculté des Mathématiques et de l'Informatique. Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj*. Consulté le 2024 à l'adresse <https://fmi.univ-bba.dz/>.
- [30] "FICO Xpress Optimization." Consulté le 2024 à l'adresse <https://www.fico.com/fico-xpress-optimization/docs/latest/moselquickref/dhtml/secmoselqr1.html>.
- [31] <https://www.geeksforgeeks.org/data-structures-2/>.
- [32] <https://community.fico.com/s/fico-xpress-mosel-mathematical>.
- [33] <https://www.fico.com/fico-xpress-optimization/docs/latest/solver/optimizer/HTML/chapter1.html>.
- [34] https://www.fico.com/fico-xpress-optimization/docs/dms2018-03/getting_started/dhtml/chap3.html.