



1<sup>ère</sup> année du cycle ingénieur

IAGI

Module du recherche opérationnelle

# Optimisation de l'Organisation des Ressources Logistiques pour un Site de Livraison à Domicile Rapide des Repas depuis les Grands Restaurants Locaux.

*Réalisé par :*  
CHAKIR Achraf  
RESSAKI Douha

*Encadré par :*  
PR. ABDESSAMAD KAMOISS

## Résumé

Ce projet vise à résoudre les défis opérationnels liés à la livraison rapide de repas. Le premier chapitre met en évidence l'importance économique et logistique de ce secteur, soulignant la nécessité d'une gestion efficace des itinéraires pour garantir la satisfaction client.

Au cœur du projet réside la modélisation basée sur des graphes, offrant une représentation visuelle des relations spatiales complexes entre les différents points du réseau logistique. Cette approche fournit une base solide pour la résolution des problèmes d'optimisation des itinéraires.

La mise en œuvre pratique de l'algorithme de Dijkstra en Python constitue le volet central du projet. Les résultats obtenus démontrent une réduction significative des distances parcourues par les livreurs, soulignant ainsi l'efficacité de la solution proposée.

En conclusion, ce mini-projet d'optimisation de l'Organisation des Ressources Logistiques pour un site de livraison à Domicile Rapide des Repas depuis les Grands Restaurants Locaux offre une contribution concrète à l'amélioration des processus logistiques. La modélisation précise, associée à une résolution efficace, ouvre la voie à des gains opérationnels mesurables. Néanmoins, le troisième chapitre souligne la nécessité d'une adaptation continue pour répondre aux défis émergents, positionnant ainsi ce projet comme une avancée cruciale dans l'efficacité de la livraison dans le secteur de la restauration rapide.

## Abstract

This project aims to address operational challenges related to fast food delivery. The first chapter highlights the economic and logistical significance of this sector, emphasizing the need for effective route management to ensure customer satisfaction.

At the core of the project is graph-based modeling, providing a visual representation of complex spatial relationships between different points in the logistics network. This approach provides a solid foundation for solving route optimization problems.

The practical implementation of the Dijkstra algorithm in Python constitutes the central component of the project. The results obtained demonstrate a significant reduction in distances traveled by delivery personnel, underscoring the effectiveness of the proposed solution.

In conclusion, this mini-project on the optimization of Resource Organization for a Fast Food Home Delivery Service from Local Restaurants makes a concrete contribution to improving logistical processes. Precise modeling, coupled with efficient resolution, paves the way for measurable operational gains. However, the third chapter emphasizes the need for continuous adaptation to address emerging challenges, positioning this project as a crucial advancement in the efficiency of food delivery in the fast-food sector.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction générale</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Présentation du contexte du projet</b>	<b>6</b>
2.1	Présentation du contexte . . . . .	6
2.1.1	Processus du fonctionnement . . . . .	6
2.1.2	Intérêt et enjeux économiques . . . . .	6
2.1.3	Quelques chiffres clés . . . . .	7
2.1.4	Quelques problématiques . . . . .	7
2.1.5	Intérêt de RO dans ce domaine . . . . .	8
2.2	Présentation de la problématique . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Modélisation</b>	<b>9</b>
3.1	Choix de la modélisation appropriée . . . . .	9
3.2	Modélisation . . . . .	9
3.3	Conclusion . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Résolution</b>	<b>11</b>
4.1	Introduction . . . . .	11
4.2	Outils utilisés . . . . .	11
4.3	Résolution détaillée et résultats . . . . .	11
4.4	Exécution du code fourni . . . . .	14
4.5	Interprétations des résultats obtenues . . . . .	15
4.6	Conclusion . . . . .	16
<b>5</b>	<b>Conclusion Générale</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Références</b>	<b>18</b>

## Table des figures

1	vue générale de la zone étudiée . . . . .	9
2	détail des sommets du graphe dans la zone étudiée . . . . .	10
3	modélisation en graphe de la zone étudiée . . . . .	10
4	la fonction dijkstra implémentée en Python . . . . .	11
5	la fonction removeEdge . . . . .	12
6	la fonction findGroups . . . . .	12
7	la fonction shortestDistanceToGroup . . . . .	13
8	la fonction findThePathToTheRemainingClients . . . . .	13
9	exemple d'exécution . . . . .	14
10	le chemin optimal après exécution . . . . .	15

## 1 Introduction générale

La recherche opérationnelle devient un partenaire incontournable dans le monde professionnel, permettant de résoudre des problèmes complexes pour lesquels l'intervention humaine seule serait limitée.

Au-delà de son rôle dans la résolution de problèmes, la recherche opérationnelle se positionne également comme un moyen de juger la qualité des solutions proposées, offrant ainsi un éclairage objectif dans le processus décisionnel. Elle intervient également en tant qu'outil de confirmation et de justification des décisions prises, renforçant ainsi la robustesse des choix opérationnels au sein de l'entreprise. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre projet de mini-projet, axé sur l'optimisation des itinéraires de livraison à domicile des repas en provenance de grands restaurants, où nous exploiterons les principes de la recherche opérationnelle pour répondre de manière efficace aux enjeux logistiques actuels.

Dans le cadre spécifique de notre mini-projet, L'objectif principal est d'utiliser des techniques algorithmiques pour déterminer les itinéraires les plus efficaces et les plus rapides pour les livreurs, en prenant en compte diverses contraintes opérationnelles et géographiques. Cette thématique revêt une importance significative dans un contexte où la demande croissante pour des services de livraison efficaces impose des contraintes logistiques et temporaires.

Le travail que nous entreprenons au cours de ce mini-projet consiste à développer une approche algorithmique, basée sur l'algorithme de Dijkstra, reconnu pour son efficacité dans la résolution de problèmes de plus courts chemins. Ce choix a été motivé par la nécessité de planifier des itinéraires optimaux, en minimisant les distances parcourues et en assurant une livraison rapide des repas aux clients.

La méthodologie du projet peut être divisée en plusieurs étapes clés. Tout d'abord, nous avons élaboré un modèle de graphe représentant le réseau routier entre les restaurants, les clients et d'autres points pertinents. Ce modèle a été construit en attribuant des distances réelles entre les différents nœuds du graphe, reflétant ainsi la réalité du terrain.

Ensuite, notre approche s'est concentrée sur l'adaptation du réseau en fonction de contraintes opérationnelles telles que des travaux routiers temporaires. Nous avons mis en œuvre une fonction permettant de supprimer temporairement des connexions entre deux nœuds, simulant ainsi des situations où des modifications sont nécessaires dans le réseau.

Une phase cruciale du projet a été le regroupement efficace des clients en ensembles pertinents. Cette étape a été réalisée en évaluant les distances entre les clients à l'aide de l'algorithme de Dijkstra. Le regroupement vise à organiser les livraisons en privilégiant les clients proches les uns des autres, contribuant ainsi à une planification logistique optimale.

L'utilisation de l'algorithme de Dijkstra a également été étendue pour déterminer les itinéraires optimaux pour chaque livraison. Les résultats obtenus ont été visualisés de manière claire, démontrant l'efficacité de notre modèle dans l'optimisation des itinéraires logistiques.

Ce document est organisé de manière à suivre logiquement notre démarche de résolution. Le premier chapitre expose le contexte de notre projet, mettant en œuvre le processus de fonctionnement, les enjeux économiques, les chiffres clés, l'intérêt de RO dans ce domaine et la présentation de la problématique. Le deuxième chapitre se consacre à la modélisation de notre problématique. Et le dernier détaille notre méthodologie de travail, présentant les différentes étapes du processus de résolution et les outils algorithmiques utilisés.

## 2 Présentation du contexte du projet

### Introduction

Le paysage dynamique de la logistique contemporaine se voit constamment redéfini par l'évolution des habitudes de consommation. Dans ce contexte, la livraison à domicile rapide des repas depuis les grands restaurants locaux émerge comme un secteur d'activité crucial, suscitant un intérêt croissant tant du point de vue économique que logistique. Ce chapitre éclairera le lecteur sur les aspects clés de cette étude, dévoilant les intérêts et enjeux économiques, les chiffres significatifs, les problématiques, et l'intérêt de l'Organisation des Ressources (RO) dans ce domaine. Nous présentons également au début de ce chapitre une compréhension approfondie du processus de fonctionnement d'un site de livraison à domicile rapide des repas, de la prise de commande à la livraison au seuil des clients.

### 2.1 Présentation du contexte

#### 2.1.1 Processus du fonctionnement

Le processus de livraison du repas à domicile rapide depuis les grands restaurants locaux implique une série d'étapes cruciales, alignées avec les principes généraux de traitement de commandes. Globalement ces étapes peuvent être divisées en 6 phases, chacune jouant un rôle essentiel dans la satisfaction du client et la gestion efficace des opérations.

Le processus débute par **la réception du stock**, une phase préalable visant à garantir la disponibilité des produits pour répondre aux commandes potentielles. Cette étape assure que le stock est suffisamment approvisionné et prêt à être inclus dans les commandes.

La phase suivante, **la prise de commande**, implique l'interaction du client avec la plateforme de livraison. Les clients peuvent passer des commandes en ligne via le site web de la plateforme, à travers des applications mobiles dédiées, ou même par téléphone. Cette variété de méthodes souligne l'importance de l'accessibilité et de la commodité dans le processus de commande.

**La réception de la commande** intervient après la prise de commande, où une équipe spécialisée dans le traitement des commandes reçoit les détails spécifiques de chaque commande. Cette équipe assure la transmission efficace des commandes aux restaurants partenaires.

L'étape suivante, **l'emballage**, est confiée à une équipe dédiée à la préparation des commandes. Cette équipe se charge d'emballer soigneusement les produits, préparant ainsi les commandes pour l'expédition.

**L'expédition** constitue une étape cruciale où le transporteur entre en jeu. Utilisant des itinéraires optimisés basés sur la géolocalisation, le transporteur garantit une livraison rapide et efficace au seuil du client. Les notifications en temps réel sont envoyées au client pour l'informer de l'état de sa livraison.

En parallèle, **la gestion des retours** est intégrée au processus. Si un produit n'est pas conforme à la commande du client, des protocoles spécifiques sont en place pour gérer les retours. Le client peut utiliser une étiquette de retour pour renvoyer le colis à la structure, et une équipe dédiée procède à une inspection pour traiter le retour de manière appropriée.

En résumé, ce processus opérationnel intégré vise à assurer une livraison rapide et efficace des repas depuis les grands restaurants locaux, tout en mettant l'accent sur la satisfaction du client. Grâce à une gestion rigoureuse des stocks, une coordination efficace avec les partenaires, et l'utilisation de technologies avancées, notre approche garantit une expérience fluide pour chaque commande, soulignant notre engagement envers la qualité et l'efficacité.

#### 2.1.2 Intérêt et enjeux économiques

La mise en œuvre d'un service de livraison de repas à domicile pour un restaurant représente une stratégie économique soigneusement étudiée, offrant une réponse précise à plusieurs enjeux clés et procurant des avantages substantiels.

Premièrement, ce modèle opérationnel étend **la visibilité** du restaurant en créant une véritable vitrine en ligne. Cette visibilité accrue transcende les frontières physiques du restaurant, permettant ainsi d'atteindre un public plus vaste et, par conséquent, d'accroître la rentabilité de l'établissement.

**La fidélisation des clients** constitue un deuxième aspect majeur. La réussite d'une expérience de livraison positive contribue à la fidélisation de la clientèle, offrant une stabilité au chiffre d'affaires du restaurant. Cette fidélité s'érige non seulement sur la qualité des plats proposés mais également sur la fiabilité et l'efficacité du service de livraison.

En outre, la livraison de repas à domicile constitue une stratégie efficace pour **attirer de nouveaux clients**. En touchant à la fois la clientèle locale habituelle du restaurant et une nouvelle audience grâce

aux commandes en ligne, le restaurant diversifie ses sources de revenus. La possibilité de livrer au bureau répond également à une tendance croissante, permettant au restaurant de conquérir de nouveaux consommateurs.

**La recherche de partenariats fiables** avec des fournisseurs de qualité est une autre dimension importante. Cela garantit non seulement des produits de premier ordre, mais aussi des options de secours en cas de problèmes d'approvisionnement. La qualité des emballages est également cruciale pour préserver l'intégrité des plats pendant le transport, un aspect qui influe directement sur l'expérience du client.

**La préservation de l'intégrité des plats** pendant le transport représente une préoccupation majeure. En faisant appel à des services de livraison spécialisés, le restaurant met en place des solutions complètes pour garantir que la qualité des plats reste intacte. Cette attention méticuleuse à la qualité est un investissement dans la satisfaction du client, élément essentiel pour maintenir la fidélité et l'image de marque du restaurant.

**La diversification des options de paiement** est une stratégie pour élargir la clientèle. L'inclusion de méthodes courantes telles que les cartes de crédit, les portefeuilles électroniques, et les paiements en espèces répond aux différentes préférences des clients. Cependant, la gestion des coûts associés aux transactions est une considération importante pour maintenir la rentabilité.

Enfin, cette stratégie s'inscrit dans une perspective plus large d'**adaptation aux évolutions du marché de la restauration**. La livraison de repas à domicile n'est pas simplement une tendance passagère, mais plutôt une nouvelle norme dans le mode de vie des consommateurs. En participant activement à cette évolution et en anticipant les besoins changeants des clients, le restaurant se positionne de manière compétitive dans un secteur en constante mutation, ouvrant ainsi des perspectives de croissance à long terme.

En résumé, la livraison de repas à domicile émerge comme une stratégie stratégique et holistique pour les restaurants. Cette approche soigneusement pensée contribue à la pérennité, à la rentabilité et à la croissance continue de l'activité du restaurant dans un environnement économique dynamique.

### 2.1.3 Quelques chiffres clés

Une récente étude menée par le groupe "Sunergia" en juillet 2022 révèle que bien que les applications de livraison de repas au Maroc aient connu une certaine expansion après la crise de la Covid-19, seulement 25% des Marocains les utilisent actuellement. L'étude, intitulée "Utilisation des applications de livraison de repas au Maroc", offre une analyse approfondie des tendances démographiques et des habitudes de consommation.

L'étude souligne que la commande de repas est plus fréquente en fin de journée, représentant 51% du total par rapport à 40% pour le déjeuner, avec un panier moyen de 130 DHS pour les restaurants et 314 DHS pour les épiceries.

En termes d'adoption des applications de livraison, un Marocain sur quatre utilise ces services, atteignant 37% en milieu urbain. Bien que ce taux soit phénoménal par rapport à la moyenne africaine de 2.26%, il reste inférieur à des marchés plus développés tels que la France (46%) et les États-Unis (47%).

Les adeptes de ces applications se concentrent principalement dans les régions urbanisées, avec Casablanca en tête (34%). Les utilisateurs typiques sont des jeunes célibataires âgés de 18 à 24 ans (41%), résidant dans des régions urbaines (37%), appartenant à la classe socioprofessionnelle aisée A et B (49%).

D'autre part, les réfractaires à ces applications sont généralement des seniors de 45 ans et plus (11%), divorcés (19%), habitant dans les régions nord, est, et sud du Maroc (20-19%), surtout dans les zones rurales (7%), et appartenant à la classe socioprofessionnelle modeste D et E (12%).

En ce qui concerne la fréquence d'utilisation, 69% des répondants utilisent ces applications souvent, 18% de manière occasionnelle, et 13% rarement. Les jeunes de 18 à 24 ans sont plus enclins à une utilisation régulière (26%), tandis que les personnes mariées du sud les utilisent occasionnellement (83%).

Parmi les freins à l'utilisation, 30% préfèrent le fait maison, 25% préfèrent aller sur place, 23% déclarent que leur zone n'est pas couverte, et 11% ne connaissent pas ces applications. Cela représente un manque à gagner pour le secteur, souligne l'étude. Cette analyse détaillée offre un aperçu des dynamiques d'adoption des applications de livraison au Maroc, mettant en lumière les opportunités et les défis auxquels le secteur est confronté.

### 2.1.4 Quelques problématiques

- **gestion des itinéraires**

Réduire la distance du trajet, et les coûts associés en prenant en considération les conditions routières.



- **Qualité de Service et Satisfaction Client**

Respecter les délais de livraison, communiquer en temps réel (informer les clients sur l'état de leur commande) et conserver la température du repas.

- **Gestion des Commandes**

Traiter les commandes en temps réel (en considérant l'annulation et la modification de la commande).

- **Gestion des ressources humaines**

Assurer des livreurs qui sont bien formés et motivés.

- **Gestion des stocks**

Déterminer les quantités de produits alimentaire nécessaire pour chaque repas servit, et le nombres de repas commander par jours pour minimiser les pertes d'argents et synchroniser les stocks en ligne après chaque commande.

- **La présence en ligne**

Augmenter la visibilité en ligne et sécuriser les données des utilisateurs

- **Gestion des réclamations**

Traiter les commentaires des clients pour une amélioration continue.

### 2.1.5 Intérêt de RO dans ce domaine

La recherche opérationnelle s'avère essentielle dans le domaine de la livraison à domicile des repas, offrant des solutions aux problématiques évoquées. Elle permet d'optimiser les itinéraires de livraison en utilisant des algorithmes issus de la théorie des graphes tels que Dijkstra, Bellman-Ford, Kruskal, Prim, Ford-Fulkerson, ce qui se traduit par une réduction significative du temps de livraison. De plus, elle intervient dans la sélection optimale des ressources logistiques, comme les véhicules de livraison, et l'optimisation de l'affectation des commandes aux livreurs selon la proximité et la charge de travail. Ceci, grâce à la modélisation des problèmes en des problèmes mathématique, en utilisant les algorithmes de résolution des programmes linéaires comme la méthode de simplexe on peut atteindre une allocation optimale des ressources.

## 2.2 Présentation de la problématique

Dans ce domaine, il existe plusieurs facettes à la question de la gestion des itinéraires : D'abord, l'optimisation des itinéraires, justement il faut crée un système pour minimiser les distances parcourus par le livreur en prenant en considération plusieurs facteurs. Ensuite, la multiplicité des points de livraison où les livreurs doivent souvent jongler entre plusieurs points de livraison en même temps, ce qui crée une difficulté dans le choix du chemin le plus optimal pour gagner le temps. Puisque nous en avons parlé du gain de temps, il y'a un facteur très important qui est le trafic et la circulation, en effet, il faut prendre en charge les travaux routiers, la congestion urbaine, les conditions des trafic et d'autres obstacles qui contribuent à la variabilité des temps de trajet. Pour terminer on peut dire que l'objectif est d'améliorer l'efficacité opérationnelle du processus de livraison, de minimiser les délais, d'optimiser les itinéraires des livreurs et de maximiser la satisfaction des clients.

## Conclusion

En conclusion, la gestion des itinéraires pour la livraison des repas des grands restaurants locaux à domicile est un problème logistique complexe qui nécessite une étude approfondie. La recherche opérationnelle est cruciale en raison des défis opérationnels, des enjeux économiques et des chiffres clés du marché au Maroc. En optimisant les itinéraires et en résolvant les problèmes de gestion des commandes, des stocks et des ressources humaines, l'efficacité opérationnelle va être améliorée, les coûts vont être réduits et l'expérience client va être améliorée. Pour rester compétitif dans ce secteur en constante évolution, il est donc crucial d'investir dans la recherche opérationnelle

## 3 Modélisation

### Introduction

Dans le contexte dynamique et exigeant de la livraison à domicile rapide des repas, l'optimisation des ressources logistiques revêt une importance cruciale. Parmi les défis majeurs auxquels est confronté ce secteur émergent, l'efficacité des itinéraires empruntés par les livreurs constitue un défi majeur. Dans le but d'améliorer cette composante fondamentale du processus de livraison, notre étude se concentre sur la modélisation de cette problématique à travers l'utilisation judicieuse des graphes.

### 3.1 Choix de la modélisation appropriée

Dans ce chapitre, nous explorerons la puissance des graphes en tant qu'outil de modélisation pour aborder notre problématique d'optimisation des itinéraires dans le contexte de la livraison à domicile de repas. Les graphes offrent une représentation visuelle intuitive qui capture efficacement les relations spatiales complexes entre les différents éléments du réseau logistique.

Notre **objectif** consiste à élaborer un modèle graphique robuste qui permettra d'optimiser les itinéraires des livreurs, contribuant ainsi à réduire les temps de livraison et à maximiser la satisfaction des clients. À travers cette modélisation, nous cherchons à élaborer des solutions efficaces et pratiques qui s'intégreront de manière transparente dans le fonctionnement quotidien du service de livraison à domicile de repas.

En explorant les tenants et aboutissants de notre **modèle basé sur les graphes**, nous aspirons à apporter des insights pertinents et des recommandations pratiques qui auront un impact significatif sur l'optimisation globale de la chaîne logistique de livraison à domicile.

### 3.2 Modélisation

L'**objectif de notre travail** est d'optimiser la durée de livraison, une considération cruciale dans le contexte de la livraison à domicile rapide de repas. Étant donné que le temps nécessaire pour la livraison est directement proportionnel à la distance parcourue, notre étude se concentre sur l'optimisation des itinéraires empruntés par les livreurs.

Pour modéliser cette problématique complexe, nous avons choisi d'utiliser **les graphes** comme outil de représentation. Cette approche offre une représentation visuelle puissante des relations spatiales entre les différents points du réseau logistique, tels que les intersections des rues, les clients et le restaurant.

En raison de la dimension pratique et opérationnelle de notre étude, nous avons décidé de **limiter** notre analyse à une zone géographique restreinte que nous avons identifiée dans la figure ci-dessous, en mettant l'accent sur les rues principales.

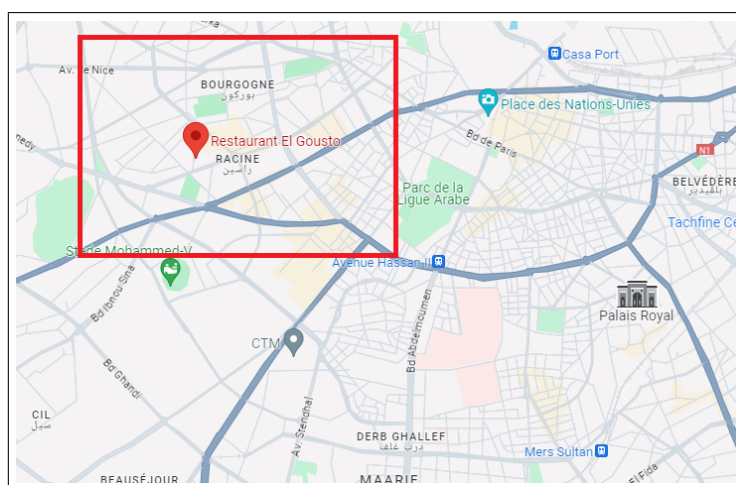


FIGURE 1 – vue générale de la zone étudiée

Dans cette zone délimitée, nous avons identifié les intersections des rues (*en bleu*), les emplacements des clients (*en vert*), et le restaurant (*en rouge*) comme les principaux sommets du graphe (*voir la figure ci-dessous*).

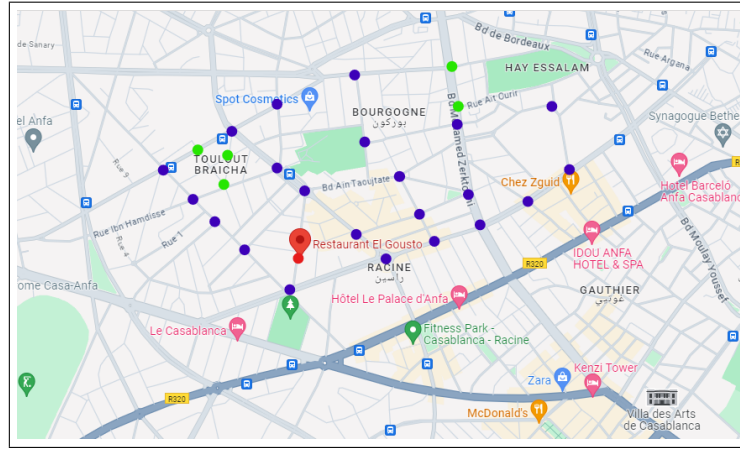


FIGURE 2 – détail des sommets du graphe dans la zone étudiée

Le graphe  $G = (V, E)$  que nous avons créé est défini par l'ensemble des sommets  $V$ , où les intersections des rues représentent les sommets en bleu, les clients sont les sommets en vert, et le restaurant est le sommet en rouge. Les arêtes représentent les distances entre les sommets, définissant ainsi les itinéraires potentiels des livreurs (*voir la figure ci-dessous*).

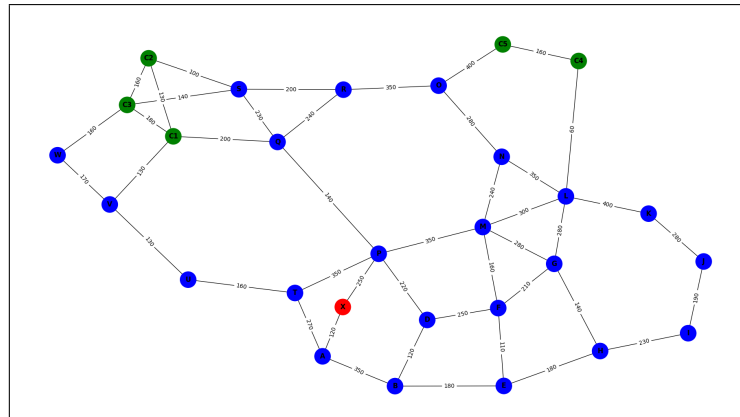


FIGURE 3 – modélisation en graphe de la zone étudiée

En restreignant notre étude à cette partie spécifique, nous simplifions la complexité géographique tout en conservant l'essence des interactions logistiques. Ce choix permet une modélisation plus précise et une résolution plus efficace de notre problème d'optimisation. En utilisant les graphes de cette manière, nous visons à concilier la rigueur de la modélisation avec la praticité nécessaire à une application logistique concrète.

### 3.3 Conclusion

En conclusion, dans ce chapitre dédié à la modélisation de notre problématique d'optimisation des itinéraires pour la livraison à domicile rapide des repas, nous avons adopté une approche axée sur les graphes, tout en créant un modèle focalisé sur l'efficacité des itinéraires de livraison délimité en une zone spécifique. **L'objectif** demeure l'optimisation du temps de livraison, avec des mesures concrètes pour assurer la pertinence opérationnelle. Dans le chapitre prochain nous approfondirons cette modélisation pour des solutions concrètes et pratiques.

## 4 Résolution

### 4.1 Introduction

Dans la continuité de notre démarche, après avoir soigneusement modélisé notre problématique au moyen des graphes, ce chapitre se consacre à la résolution concrète de cette problématique. Notre approche repose sur l'implémentation d'un code en Python intégrant **l'algorithme de Dijkstra**. Nous examinons en détails les étapes de cette résolution, ainsi que les résultats obtenus, ce qui nous permettra d'évaluer l'efficacité de notre solution dans l'optimisation des itinéraires de livraison pour la livraison rapide de repas à domicile.

### 4.2 Outils utilisés

Pour atteindre notre objectif d'optimisation des itinéraires de livraison à partir des grands restaurants, nous avons opté pour une approche algorithmique, en utilisant Dijkstra. Cette méthode, largement reconnue pour son efficacité dans la résolution de problèmes de plus courts chemins, nous permettra de déterminer les trajets les plus rapides et les plus efficaces pour nos livreurs. En intégrant cette approche informatique à notre modèle basé sur les graphes, nous visons à obtenir des résultats précis et pratiques pour améliorer la performance globale de la chaîne logistique de livraison à domicile de repas.

### 4.3 Résolution détaillée et résultats

Notre démarche de résolution repose sur plusieurs fonctions clés, chacune jouant un rôle spécifique dans l'optimisation des itinéraires pour la livraison à domicile rapide des repas.

```

1  def dijkstra(graph,start):
2      #initialisation
3      L={node:float('inf') for node in graph.keys()} # inistialisation du dictionnaire des longueurs
4      P={node:None for node in graph.keys()} # inistialisation du dictionnaire des predecesseurs
5      S={node: set(graph[node].keys()) for node in graph} # inistialisation du dictionnaire des successeurs
6      L[start]=0
7      P[start]=start
8      for node in graph.keys():
9          if node != start:
10             if node in S[start]:
11                 L[node]=(graph[start])[node]
12                 P[node]=start
13             else:
14                 L[node]=float('inf')
15                 P[node]=None
16      M=set() # M ensemble des noeuds visités
17      M.add(start)
18      #traitement
19      nbrSommet=len(set(graph.keys()))
20      while len(M) != nbrSommet:
21          unvisited_nodes=set(graph.keys())-M
22
23          # transformation de 'set' à une 'list' pour avoir accès au elements
24          list_unvisited_nodes=list(unvisited_nodes)
25
26          # recherche de la plus petite longueur
27          x=list_unvisited_nodes[0]
28          for y in unvisited_nodes:
29              if(L[x]>L[y]):
30                  x=y
31
32          for y in S[x]:
33              if L[x] + (graph[x])[y] < L[y]:
34                  L[y] = L[x] + (graph[x])[y]
35                  P[y] = x
36          M.add(x) # mise à jour de l'ensemble M
37      return L, P

```

FIGURE 4 – la fonction dijkstra implémentée en Python

La première fonction, **dijkstra(graph, start)**, constitue le pilier de notre approche en utilisant l'algorithme de Dijkstra pour calculer les chemins les plus courts dans le graphe pondéré. Les résultats, présentés à travers les dictionnaires "*distances*" et "*predecessors*", fournissent des informations cruciales sur les distances minimales et les nœuds prédécesseurs, formant ainsi la base pour établir des itinéraires efficaces.

```

39 # implementation de la fonction removeEdge pour traiter le cas des travaux routiers
40 def removeEdge(graph,firstNode,secondNode):
41     for node in graph.keys():
42         if node == firstNode:
43             del graph[firstNode][secondNode]
44         if node == secondNode :
45             del graph[secondNode][firstNode]
46     return graph

```

FIGURE 5 – la fonction removeEdge

La fonction **removeEdge(graph, firstNode, secondNode)** offre une flexibilité essentielle en modélisant des situations où des travaux routiers nécessitent la suppression temporaire de connexions entre deux nœuds. Cette fonction prend en compte des contraintes potentielles sur les itinéraires, contribuant à une adaptation réaliste du modèle.

```

48 def findGroups(graph,clients):
49     groups = [] # liste des groupes de clients
50     group = []
51     remaining_clients = clients
52     while len(remaining_clients)!=0:
53         distances,predecessors = dijkstra(graph,remaining_clients[0])
54
55         for node in distances.keys():
56             if node in clients:
57                 if distances[node]<=400: # les clients qui sont distants de moins de 400 mètres sont considérés proches
58                     group.append(node)
59                     remaining_clients.remove(node)
60
61         groups.append(group) # mise à jour de la liste des groupes
62         group = []
63
64     return groups

```

FIGURE 6 – la fonction findGroups

Ensuite, la fonction **findGroups(graph, clients)** organise les clients en ensembles en évaluant les distances entre eux à l'aide de l'algorithme de Dijkstra. Cette étape facilite l'organisation des livraisons en priorisant les clients proches les uns des autres. En divisant les clients en groupes, on favorise une approche stratégique où les livreurs peuvent desservir plusieurs destinataires lors d'un seul trajet, minimisant ainsi les distances totales parcourues.

```

66 def shortestDistanceToGroup(graph,group,resto):
67     chemin = []
68     FirstClient = group[0]
69     distances,predecessors = dijkstra(graph,resto)
70
71     # determination du client le plus proche au restaurant
72     for node in group:
73         if distances[node]<=distances[FirstClient]:
74             FirstClient = node
75
76     chemin.append(FirstClient)
77     previousNode = predecessors[FirstClient]
78
79     while resto not in chemin:
80         chemin.append(previousNode)
81         previousNode = predecessors[previousNode]
82
83     chemin.reverse()
84
85     return chemin

```

FIGURE 7 – la fonction shortestDistanceToGroup

```

87 def findThePathToTheRemainingClients(graph,group,cheminFirstClient):
88
89     chemin = cheminFirstClient
90     # si le groupe contient un seul client
91     if len(group)<=1:
92         return chemin
93
94     remaining_clients = group
95     for node in group:
96         if node in cheminFirstClient:
97             remaining_clients.remove(node)
98
99     pathToNextClient = []
100     while len(remaining_clients)!=0:
101         # le dernier client servit devient le point de départ
102         distances,predecessors = dijkstra(graph,chemin[-1])
103         nextClient = remaining_clients[0]
104         #determination du client le plus proche au client precedent
105         for node in group:
106             if distances[node]<=distances[nextClient]:
107                 nextClient = node
108
109         pathToNextClient.append(nextClient)
110         previousNode = predecessors[nextClient]
111
112         while chemin[-1] not in pathToNextClient:
113             pathToNextClient.append(previousNode)
114             previousNode = predecessors[previousNode]
115
116         pathToNextClient.pop() # élimination du client precedemment visité du nouveau chemin
117         pathToNextClient.reverse()
118
119         # ajout du chemin au nouveau client dans le chemin final
120         for node in pathToNextClient:
121             chemin.append(node)
122
123         remaining_clients.remove(nextClient)
124         pathToNextClient = []
125
126     return chemin

```

FIGURE 8 – la fonction findThePathToTheRemainingClients

Les fonctions `shortestDistanceToGroup(graph, group, resto)` et `findThePathToTheRemainingClients(graph, group, cheminFirstClient)` détaillent la planification des déplacements initiaux vers chaque groupe de clients et la détermination des itinéraires optimaux pour visiter les clients restants. Ces fonctions contribuent à minimiser les distances parcourues de manière incrémentale.

**Les résultats obtenus**, basés sur des données concrètes issues du modèle de graphe, constituent une base solide pour des applications plus vastes visant à améliorer la chaîne logistique de la livraison à domicile rapide des repas. Cependant, des opportunités d'amélioration subsistent, notamment l'exploration d'algorithmes plus sophistiqués intégrant des données en temps réel. Cette approche itérative demeure un levier puissant pour continuer à affiner et perfectionner notre modèle, le rendant plus adaptable et efficient dans le contexte dynamique de la livraison à domicile.

Notre démarche globale s'est construite autour de ces fonctions, déployées de manière cohérente dans une séquence logique. Nous avons initié le graphe en attribuant des distances réelles tirées du modèle élaboré dans le chapitre précédent. En ajustant le réseau en fonction de contraintes opérationnelles, nous avons modélisé une représentation fidèle des rues et des emplacements des clients, contribuant ainsi à la réalité du terrain.

Le processus s'est poursuivi par le regroupement efficace des clients en ensembles pertinents, **facilitant** ainsi la planification optimale des livraisons. La détermination des itinéraires optimaux à l'aide de l'algorithme de Dijkstra a permis de visualiser clairement les trajets prévus pour chaque livraison, démontrant ainsi l'efficacité de notre modèle dans l'optimisation des itinéraires logistiques.

## 4.4 Exécution du code fourni

```

-----La zone étudié :-----
{'X': {'A': 120, 'P': 250}, 'A': {'X': 120, 'T': 270, 'B': 350}, 'P': {'X': 250, 'T': 350, 'Q': 140, 'D': 220, 'M': 350}, 'T': {'A': 270, 'P': 350, 'U': 160}, 'B': {'A': 350, 'D': 120, 'E': 180}, 'U': {'T': 160, 'V': 130}, 'V': {'U': 130, 'W': 170, 'C1': 130}, 'W': {'V': 170, 'C3': 160}, 'C1': {'V': 130, 'C3': 180, 'C2': 130, 'Q': 200}, 'C3': {'W': 160, 'C1': 180, 'S': 140, 'C2': 160}, 'S': {'C3': 140, 'C2': 100, 'Q': 230, 'R': 200}, 'C2': {'C3': 160, 'S': 100, 'C1': 130}, 'Q': {'C1': 200, 'S': 230, 'P': 140, 'R': 240}, 'R': {'S': 200, 'Q': 240, 'O': 350}, 'D': {'B': 120, 'P': 220, 'F': 250}, 'E': {'B': 180, 'F': 110, 'H': 180}, 'F': {'D': 250, 'E': 110, 'M': 160, 'G': 210}, 'H': {'E': 180, 'G': 140, 'I': 230}, 'M': {'F': 160, 'G': 280, 'P': 350, 'L': 300, 'N': 240}, 'G': {'F': 210, 'H': 140, 'M': 280, 'L': 280}, 'L': {'G': 280, 'K': 400, 'M': 300, 'N': 350, 'C4': 60}, 'I': {'H': 230, 'J': 190}, 'J': {'I': 190, 'K': 280}, 'K': {'J': 280, 'L': 400}, 'N': {'M': 240, 'L': 350, 'O': 280}, 'O': {'N': 280, 'R': 350, 'C5': 400}, 'C5': {'O': 400, 'C4': 160}, 'C4': {'C5': 160, 'L': 60}}

-----
veuillez saisir 1 si le chemin emprunté contient des travaux sinon saisir -1 -1
-----Le graphe reste inchangé-----
Si toute modification est établie Tapez 0 0

-----
les clients qu'on doit desservir sont les suivants ['C1', 'C2', 'C3', 'C4', 'C5']

-----
l'organisation des livraisons en priorisant les clients proches les uns des autres
+le groupe Numéro 0 de livraison : ['C1', 'C3', 'C2']
+le groupe Numéro 1 de livraison : ['C5', 'C4']

-----
Tapez le numéro du groupe à desservir 0
le groupe choisie est : ['C1', 'C3', 'C2']

-----
Le chemin le plus court pour arriver au 1er client du groupe : ['X', 'P', 'Q', 'C1']

-----
Le chemin optimal pour deservir tout les clients du groupe est : ['X', 'P', 'Q', 'C1', 'C2', 'C3']

-----
Affichage du chemin optimal :
-----

```

FIGURE 9 – exemple d'exécution

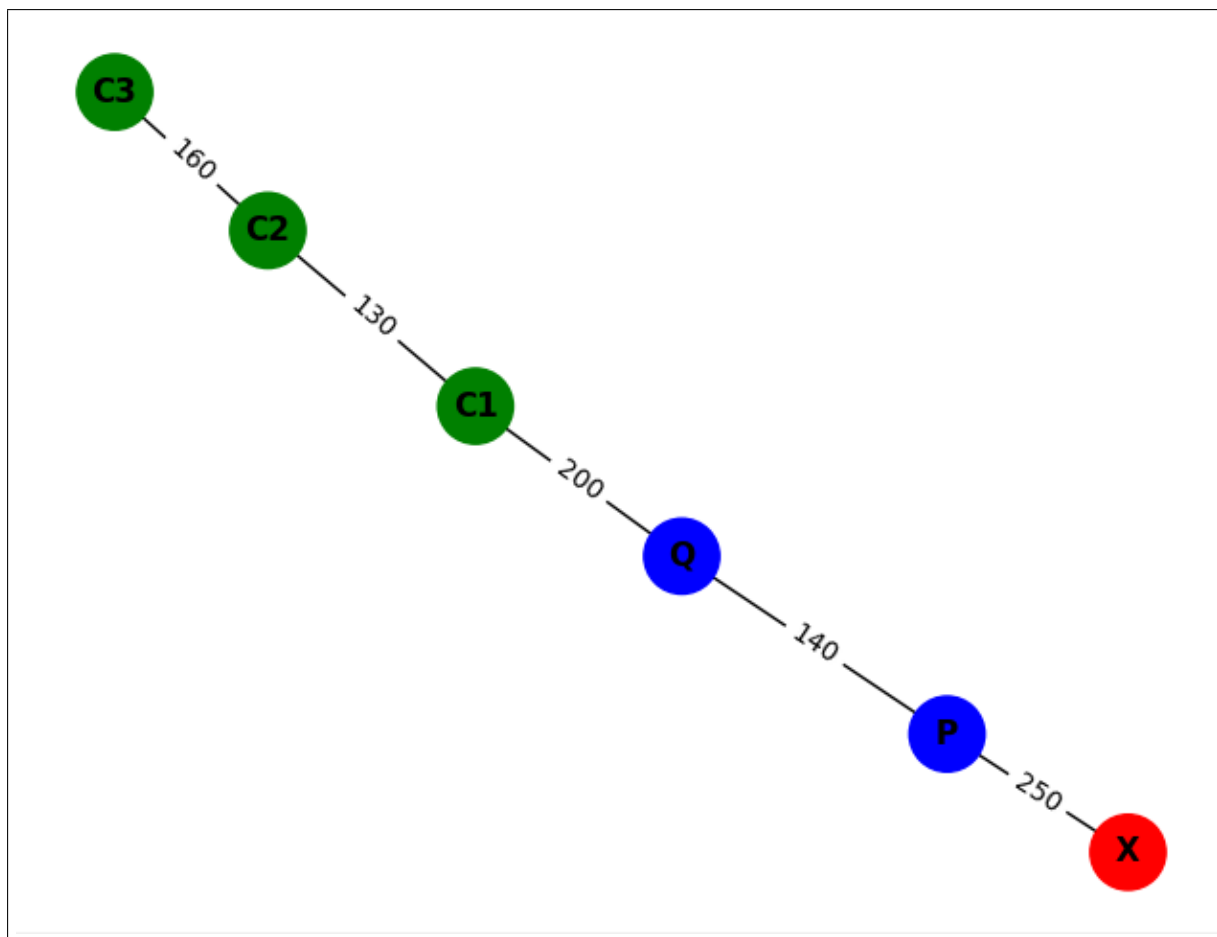


FIGURE 10 – le chemin optimal après exécution

## 4.5 Interprétations des résultats obtenues

Tout d'abord, l'analyse des chemins les plus courts entre le restaurant et les clients, regroupés en ensembles pour **maximiser l'efficacité**, révèle une réduction significative des distances parcourues par les livreurs. Ce gain en efficacité est directement traduit en une réduction des temps de livraison, contribuant ainsi à l'amélioration de l'expérience client.

En termes de spécification du **gain obtenu**, il est essentiel de souligner l'optimisation notable des itinéraires parcourus par les livreurs, ce qui se traduit par des économies de temps et de coûts opérationnels. Ces résultats se traduisent également par une optimisation des ressources logistiques, avec une distribution plus stratégique des livraisons en fonction de la proximité géographique des clients.

Cependant, il est important de noter que la réalité opérationnelle peut présenter des **défis** imprévus, tels que des conditions de trafic variables, des travaux routiers temporaires, ou d'autres contraintes potentielles. Ces facteurs pourraient influencer la précision de nos prévisions, et par conséquent, il est nécessaire d'intégrer une flexibilité adaptative dans notre modèle pour tenir compte de ces éléments imprévisibles.

Concernant les **critiques des résultats obtenus**, il est important de souligner que la qualité de nos conclusions dépend étroitement de la précision des données géographiques et des distances fournies. Des erreurs potentielles dans ces informations peuvent influencer la justesse de nos prévisions. En outre, l'efficacité opérationnelle dépend également de la disponibilité et de la fiabilité des données en temps réel, notamment en ce qui concerne la circulation routière. Il est crucial de noter que les données utilisées pour construire notre graphe, bien que provenant directement de sources cartographiques, peuvent présenter des incohérences si les informations de base sont incorrectes ou obsolètes. A cet égard, il est essentiel d'assurer régulièrement la mise à jour et la précision des données géographiques pour garantir la fiabilité continue de notre modèle d'optimisation des itinéraires.

**En vue d'améliorations possibles**, il serait pertinent d'explorer des algorithmes plus sophistiqués qui tiennent compte des facteurs en temps réel, tels que les conditions de trafic routier. En intégrant des



données dynamiques, notre modèle pourrait s'ajuster de manière plus précise aux réalités changeantes de l'environnement logistique. De plus, m'établissement des partenariats avec des systèmes de navigation en temps réel et des mises à jour continues des bases de données géographiques pourraient contribuer à une adaptation plus agile aux changements inattendus sur le terrain.

## 4.6 Conclusion

En conclusion de ce chapitre dédié à la résolution de notre problématique d'optimisation des itinéraires pour la livraison à domicile rapide des repas, nous avons adopté une approche basée sur les graphes, accompagnée de l'implémentation de l'algorithme de Dijkstra en Python. Cette méthodologie nous a permis de générer des solutions efficaces pour le cheminement optimal des livreurs, contribuant ainsi à réduire les temps de livraison et la satisfaction des clients. Les résultats obtenus offrent une base solide pour la prise de décisions opérationnelles, tout en ouvrant la voie à des améliorations futures, notamment l'intégration de données en temps réel et l'exploration d'algorithmes plus sophistiqués.

## 5 Conclusion Générale

Le résultat obtenu est globalement satisfaisant, démontrant une réduction significative des distances parcourues par les livreurs grâce à l'optimisation des itinéraires. Cette amélioration directe se traduit par des gains de temps et des économies opérationnelles, contribuant ainsi à une expérience client améliorée.

Ce travail a fourni une compréhension approfondie des défis logistiques liés à la livraison rapide de repas. L'application de l'algorithme de Dijkstra a enrichi nos connaissances en matière de modélisation basée sur des graphes pour résoudre des problèmes concrets de gestion d'itinéraires.

Malgré les résultats positifs, des défis subsistent, notamment la variabilité des conditions opérationnelles telles que le trafic et les travaux routiers. Une adaptation continue est nécessaire pour maintenir la précision du modèle. Une difficulté majeure a été rencontrée en raison de la vaste étendue géographique de l'étude. La couverture d'une large zone géographique a introduit des complexités supplémentaires dans la collecte et l'analyse des données, rendant le processus plus exigeant en termes de ressources et de coordination. La nécessité de prendre en compte des variations significatives d'un endroit à l'autre a ajouté une dimension supplémentaire à la modélisation des itinéraires. Par ailleurs, la collecte d'informations s'est avérée être un défi majeur, car il est rarement invoqué un accès complet et direct à toutes les données nécessaires. La disponibilité limitée d'informations en temps réel constitue une contrainte, notamment en ce qui concerne des éléments cruciaux tels que la durée des feux rouges. Ces lacunes dans la disponibilité des données peuvent influencer la précision de notre modèle, soulignant la nécessité de solutions alternatives ou d'améliorations potentielles dans la collecte d'informations logistiques.

Ce projet offre une base solide pour une recherche plus étendue ou un projet industriel. L'intégration de données en temps réel et l'exploration d'algorithmes plus avancés peuvent améliorer la robustesse du modèle.

Le mode de travail en équipe dans ce mini-projet a été collaboratif et cohérent. La répartition des tâches et la communication efficace ont contribué à la réussite du projet.

Pour les futurs ingénieurs, on leur propose le sujet intitulé : " Optimisation des coûts d'expédition pour une logistique durable au Maroc " dont l'objectif est de minimiser les coûts d'expédition des produits au Maroc tout en favorisant la durabilité environnementale

## 6 Références

- *5 difficultés de livraison auxquelles tous les restaurants sont confrontés.* URL : <https://tryotter.com/fr-fr/blog/conseils-pour-vos-livraisons/5-difficultes-de-livraison-auxquelles-tous-les-res> (Consulté le : 23-12-2023).
- *Les 4 problématiques des restaurateurs en livraison et comment y faire face.* URL : <https://www.rushour.io/actualites/les-4-problematiques-des-restaurateurs-en-livraison-et-comment-y-faire-f> (Consulté le : 23-12-2023).
- *10 problèmes fréquents dans les restaurants avec livraison à domicile.* URL : <https://blog.monouso.fr/problemes-frequents-dans-les-restaurants-avec-livraison-a-domicile/> (Consulté le : 23-12-2023).
- *Processus de traitement d'une commande client : pourquoi choisir un logiciel ?.* URL : <https://www.getapp.fr/blog/3440/processus-de-traitement-d-une-commande-client-choix-logiciel> (Consulté le : 23-12-2023).
- *Les enjeux de la livraison de repas à domicile.* URL : <https://www.le-coursier.fr/blog/enjeux-livraison-repas-a-domicile> (Consulté le : 23-12-2023).
- *Livraison de repas à domicile : un guide pour les restaurateurs.* URL : <https://www.capterra.fr/blog/1709/livraison-repas-domicile-guide-restaurateurs> (Consulté le : 23-12-2023).
- *Applications de livraison de repas : 25% des Marocains les utilisent, 8% ne les connaissent pas.* URL : <https://fr.hespress.com/274303-applications-de-livraison-de-repas-25-des-marocains-les-u.html> (Consulté le : 23-12-2023).