

**Faculté des Sciences Exactes et d'Informatique**  
**Département de Mathématiques et informatique**  
**Filière : Informatique**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Informatique  
Option : **Intelligence Artificielle pour l'internet des objets**  
**(IA4IoT)**

Présenté par :

**BENAMARA BOUCHRA**

THEME :

**IA pour l'automatisation de la planification de la livraison :**  
**appliqué à la société NAFTAL**

Soutenu le : 02/06/2024

Hamami Dalila      MCB      Université de Mostaganem      Encadreur

Deddouche Yamina      MAA      Université de Mostaganem      CO- Encadreur

Année Universitaire 2023-2024

## **Résumé :**

Ce projet vise à développer une solution intelligente pour optimiser la planification des livraisons chez NAFTAL, en prédisant la demande future et en automatisant les processus logistiques. Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé l'algorithme A\* pour l'optimisation des itinéraires de livraison et appliqué des réseaux de neurones récurrents de type LSTM (Long Short-Term Memory) pour la prévision de la demande. Ces algorithmes de l'intelligence artificielle (IA) ont été intégrés dans une solution logicielle pour automatiser la planification des livraisons.

Grâce à l'application des LSTM, nous avons amélioré la précision des prévisions de la demande, tandis que l'algorithme A\* a permis d'optimiser les itinéraires de livraison et de réduire les coûts de transport. L'automatisation des processus logistiques aval a simplifié les opérations répétitives, augmentant ainsi la productivité et la satisfaction des clients.

En conclusion, l'utilisation de l'IA, en particulier de l'algorithme A\* et les réseaux de neurones LSTM, a permis de développer une solution innovante pour automatiser la planification des livraisons chez NAFTAL. Cette approche intelligente des flux logistiques a apporté des améliorations significatives en termes de prévision de la demande, d'optimisation des itinéraires et de productivité. L'intégration réussie de ces technologies de l'IA ouvre la voie à de nouvelles perspectives d'optimisation de la chaîne d'approvisionnement.

**Mots-clés :** Intelligence Artificielle, Algorithme A\*, Réseaux de neurones récurrents, LSTM, Prévision de la demande, Optimisation des itinéraires, Automatisation logistique, Planification des livraisons.

## **Abstract :**

This project aims to develop an intelligent AI-based solution to optimize delivery planning at NAFTAL, predicting future demand and automating logistics processes. To achieve this goal, we used the A\* algorithm for optimizing delivery routes and applied LSTM (Long Short-Term Memory) recurrent neural networks for demand forecasting. These AI algorithms have been integrated into a software solution to automate delivery planning.

Through the application of LSTM, we have improved the accuracy of demand forecasting, while the A\* algorithm has optimized delivery routes and reduced transportation costs. The automation of downstream logistics processes has simplified repetitive operations, increasing productivity and customer satisfaction.

In conclusion, the use of AI, in particular the A\* algorithm and LSTM neural networks, has made it possible to develop an innovative solution to automate delivery planning at NAFTAL. This intelligent approach to logistics flows has brought significant improvements in demand forecasting, route optimization and productivity. The successful integration of these AI technologies opens up new perspectives for supply chain optimization.

**Keywords :** Artificial Intelligence, Algorithm A\*, Recurring neural networks, LSTM, Demand forecasting, Route optimization, Logistics automation, Delivery planning.

# **Dédicaces**

Ce travail, et bien au-delà, je le dois à mes très chers parents qui m'ont fourni au quotidien un soutien et une confiance sans faille et de ce fait, je ne saurais exprimer ma gratitude seulement par des mots. Que Dieu vous protège et vous garde pour nous.

À mes chères sœurs Amina et Hana, à mon cher frère Yasser, ainsi qu'à mes amis proches Maroua et Fatima, qui m'ont supporté durant ces dernières années. Votre présence et votre soutien ont été essentiels pour mener à bien ce projet.

À tous mes amis avec lesquels j'ai partagé mes moments de joie et de bonheur. Que toute personne m'ayant aidé de près ou de loin, trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

À tous ceux qui me sont chers, tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

# **Remerciements**

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Mes sincères remerciements vont ensuite à mon encadrante, Mme HAMAMI DALILA, ainsi qu'à ma Co-encadrante, Mme DEDDOUCHE YAMINA, pour leurs précieux conseils, leur aide et leur orientation tout au long de ce projet. Leur confiance, leur patience et leur expertise ont été un apport considérable, sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené à bien.

Je remercie également Mr. HAMAMI DJAMAL pour son soutien et son aide précieuse concernant la société NAFTAL, où j'ai effectué mon stage. Ses connaissances et son expérience ont été d'une grande valeur pour mon projet.

Mes vifs remerciements s'adressent également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon développement en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, je tiens à remercier mes parents pour leur soutien indéfectible, ainsi que ma famille : ma sœur Amina, ma jumelle Hana, et mon frère Yasser, pour leur amour et leur encouragement tout au long de ce parcours.

## Liste des figures

Figure 1 Prévision de la demande et gestion des stocks [5] .....	14
Figure 2 Les prévisions de la demande et leurs rôles [5].....	15
Figure 3 comparaison de la technique de recherche [33] .....	25
Figure 4 les trois portes de LSTM (entrée, oublier et sortie porte).....	31
Figure 5 Diagramme de classe.....	36
Figure 6 Diagramme de Cas d'utilisation .....	37
Figure 7 Diagramme de séquence "Authentification" .....	38
Figure 8 Diagramme de séquence " Ajouter client " .....	39
Figure 9 Diagramme de séquence " Supprimer client " .....	39
Figure 10 Diagramme de séquence "Livreur" .....	40
Figure 11 Diagramme de séquence "Chef service .....	41
Figure 12 données manquantes existe-il dans la base de données.....	50
Figure 13 Gestion de valeurs manquantes .....	51
Figure 14 Présence Absence de Valeurs Manquantes dans la Base de Données.....	51
Figure 15 Pourcentage de valeurs manquantes.....	53
Figure 16 Décomposition Saisonnière de la Demande .....	54
Figure 17 Le nombre d'unités (ou de neurones) dans la couche.....	55
Figure 18 Configuration de la forme d'entrée pour le modèle LSTM .....	55
Figure 19 Ajout d'une couche LSTM .....	56
Figure 20Ajout d'une couche Dense .....	56
Figure 21 calcul le MAPE.....	60
Figure 22 Tracer le temps d'exécution .....	60
Figure 23 Utilisation mémoire .....	61
Figure 24 Évolution de l'Ordre de Livraison suite à la Modification des Poids.....	63
Figure 25 Profilage de la Mémoire lors de l'Exécution de l'Algorithme A* .....	64
Figure 26 Création de Compte.....	66

Figure 27 Code de Confirmation envoyé à l'adresse Gmail .....	67
Figure 28 Saisie du Code de Confirmation pour Valider la Création de Compte .....	67
Figure 29 Interface de Confirmation - Adresse Email Validée .....	68
Figure 30 Page de Connexion - Saisie de l'Email et du Mot de Passe.....	69
Figure 31 Page d'accueil.....	70
Figure 32 Gestion des Utilisateurs.....	71
Figure 33 Les Ventes prévu vs réels.....	71
Figure 34 Prévision des Niveaux de Stock Futurs .....	72
Figure 35 Graphique indiquant les produits les plus utilisés .....	73
Figure 36 Fenêtre authentification Client .....	74
Figure 37 Fenêtre Erreur en authentification .....	74
Figure 38 Formulaire de Commande .....	75
Figure 39 Priorité de Livraison : " Interface des Commandes et Clients pour le Livreur ...	76
Figure 40 localisation du client (wilaya, adresse, raison sociale).....	77

## Liste des abréviations

Abréviation	Expression Complète	Page
IA	Intelligence Artificielle	13
LSTM	Long Short-Term Memory	25
RNN	Réseau de Neurones Récurrents (Recurrent Neural Network)	24
A*	Algorithme A étoile	15
UML	Unified Modeling Language	32
CSV	Comma-Separated Values	42
SQL	Structured Query Language	42
API	Application Programming Interface	41
SCM	SUPPLY CHAIN MANAGEMENT	5

GPL	GAZ DE PETROLE LIQUEFIE	5
GPL/C	Gaz de Pétrole Liquéfié Carburant	5
P	PROPANE	5
B	BUTANE	5
ML	MACHINE LEARNING	15
API	APPLICATION PROGRAMMING INTERFACE	41
$h(n)$	Heuristique	21
$G(N)$	Coût Réel	21
$F(N)$	Fonction d'Évaluation	21
RAM	Random Access Memory (Mémoire à Accès Aléatoire)	40
GPU	Graphics Processing Unit (Unité de Traitement Graphique)	40
CPU	Central Processing Unit (Unité Centrale de Traitement)	40
SPA	SOCIETE PAR ACTIONS	5

GRU	GATED RECURRENT UNIT	40
RMSE	ROOT MEAN SQUARE ERROR	54
TANH	TANGENT HYPERBOLIC (FONCTION D'ACTIVATION)	53

Table des matières

Introduction Générale .....	9
I.1 Introduction .....	12
<b>I.2 Présentation de l'entreprise NAFTAL</b> .....	12
<b>I.2.1 Les principales activités de Naftal</b> .....	12
<b>I.2.2 Produits GPL</b> .....	13
<b>I.2.3 Moyens de transport utilisés par Naftal pour la livraison du gaz en Algérie</b> 13	
<b>I.3 Les besoins de la société NAFTAL</b> .....	13
<b>I.3.1 Prévision de la demande et gestion des stocks</b> .....	13
<b>I.3.2 Précision les niveaux de stock futurs</b> .....	15
<b>I.3.3 Planification et optimisation de la livraison</b> .....	16
<b>I.4 Problématique :</b> .....	16
<b>I.4.1 Défis</b> .....	16
<b>I.4.2 Solution</b> .....	17
<b>I.5 Conclusion</b> .....	17
<b>II.1 Introduction</b> .....	20
<b>II.2 Solutions d'intelligence artificielle pour optimiser les opérations logistiques de Naftal</b> .....	20
<b>II.1.2 Définition de l'IA</b> .....	20
Voici quelques techniques d'optimisation d'itinéraire basées sur l'IA : .....	21
<b>II.2.3 IA pour la prévision de la demande</b> .....	28
<b>II.3 Conclusion</b> .....	33
<b>III.1 Introduction</b> .....	35
<b>III.2 Modélisation UML</b> .....	35
<b>III.2.1 Diagramme de classe :</b> .....	35

<b>III.2.2 Diagramme de Cas d'utilisation :</b>	36
<b>III.2.3 Diagramme de séquence :</b>	37
<b>III.3 Conclusion :</b>	41
<b>IV.1 Introduction :</b>	43
<b>IV.2 Outils de développement</b>	43
<b>IV.2.1 Machine et système d'exploitation</b>	43
<b>IV.2.3 Langage de programmation</b>	43
<b>IV.2.4 Système de gestion de base de données</b>	44
<b>Comment préparer les données pour la prévision ?</b>	50
3. Séparation des données :	51
1. Nombre d'unités LSTM :	55
2. Nombre de couches LSTM :	55
6. Nombre d'époques	57
Une Analyse plus détaillée de notre approche Algorithme A*:	57
<b>IV.2.5 Conception et modélisation :</b>	59
<b>Calcul de la MAPE</b>	60
Interprétation	60
1.1 Interprétation du Temps d'Exécution :	61
<b>IV.3.1 Interface d'Authentification :</b>	65
accéder à l'interface d'accueil	69
• Accéder à la page d'accueil	69
Gérer les comptes utilisateurs des livreurs et des clients	70
• Prévìsion des Ventes et des Niveaux de Stock Futurs :	71
<b>IV.4 Conclusion :</b>	77
<b>Conclusion Générale</b>	78
<b>Bibliographie</b>	80

# Introduction Générale

Au cours des dernières années, les entreprises ont été confrontées à de nombreux défis en matière de gestion logistique, notamment une mauvaise organisation des livraisons, des prévisions de demande imprécises et des processus inefficaces. Ces problèmes ont souvent conduit à des retards, des surcoûts et une insatisfaction croissante des clients. Dans le contexte de l'entreprise NAFTAL, ces défis logistiques se sont avérés particulièrement préoccupants, affectant non seulement la performance opérationnelle, mais aussi la compétitivité sur le marché.

La problématique principale réside dans l'incapacité à prévoir avec précision la demande future, ce qui entraîne des déséquilibres entre l'offre et la demande, des niveaux de stock inadéquats, et une gestion des itinéraires de livraison sous-optimale. Ces difficultés ont motivé NAFTAL à rechercher des solutions innovantes pour améliorer ses opérations logistiques. C'est dans ce cadre que moi, spécialisée en intelligence artificielle, a été sollicitée pour développer une solution intelligente capable de répondre à ces défis.

Notre objectif est de concevoir et de mettre en œuvre une solution basée sur l'intelligence artificielle pour optimiser la planification des livraisons chez NAFTAL. Cette solution vise à améliorer la précision des prévisions de demande, optimiser les itinéraires de livraison, et prévoir les niveaux de stock futurs, contribuant ainsi à une gestion logistique plus efficace et rentable.

Ce mémoire est constitué de quatre chapitres. Le premier étant consacré à la Présentation et description de la société NAFTAL : Ce chapitre introduit NAFTAL, ses activités principales, ainsi que les besoins spécifiques de l'entreprise en matière de logistique. Nous détaillerons la problématique qui a conduit la société à me solliciter, mettant en lumière les défis auxquels elle est confrontée et les raisons pour lesquelles une solution basée sur l'intelligence artificielle est nécessaire.

Le deuxième chapitre étant consacré à la Solutions proposées : Dans ce chapitre, nous décrivons en détail les solutions développées. Nous abordons l'utilisation de l'IA pour l'optimisation de la planification des livraisons, la prévision de la demande et la prévision des niveaux de stock futurs. Nous expliquerons comment chaque composant de l'IA contribue à résoudre les problèmes identifiés et à améliorer les processus logistiques de NAFTAL.

Le troisième chapitre étant consacré à la Modélisation UML : Ce chapitre est consacré à la modélisation des solutions proposées. Nous utiliserons les diagrammes UML pour illustrer les

différents aspects de la solution. Les diagrammes de classes, de séquence et de cas d'utilisation seront présentés pour fournir une vision claire et structurée de l'architecture du système et des interactions entre les différentes composantes.

Le dernier chapitre de ce mémoire présente le développement de l'application : Le dernier chapitre traite des aspects techniques du développement de l'application. Nous discuterons des langages de programmation utilisés, des Framework et des outils de développement. De plus, nous détaillerons le processus de développement, les tests effectués et les étapes de lancement de l'application.

En conclusion, ce mémoire vise à démontrer comment l'application de technologies d'intelligence artificielle peut transformer les opérations logistiques de NAFTAL, en apportant des améliorations significatives en termes de précision des prévisions, d'optimisation des livraisons et de gestion des stocks.

# **Chapitre 1 : Naftal : présentation, Besoins et Problématique**



## **I.1 Introduction**

NAFTAL, entreprise leader dans la distribution et la commercialisation de produits pétroliers et gaziers en Algérie, fait face à de nombreux défis opérationnels complexes. Pour relever ces défis et assurer une gestion efficace de ses activités, NAFTAL doit identifier clairement ses principaux besoins et mettre en place des solutions adaptées.

Ce chapitre, intitulé "NAFTAL : Présentation, Besoins et Problématique", présente une description détaillée de la société NAFTAL, en mettant en avant son rôle clé dans la distribution et la commercialisation des produits pétroliers et gaziers en Algérie, avant de se pencher sur les besoins spécifiques de l'entreprise et les problématiques qu'elle rencontre dans son fonctionnement

### **I.2 Présentation de l'entreprise NAFTAL**

Naftal est une société par actions (SPA) algérienne, filiale à 100% du groupe Sonatrach. Elle a été fondée en 1982 et a pour mission principale la distribution et la commercialisation des produits pétroliers et dérivés sur le marché national algérien [1].

#### **I.2.1 Les principales activités de Naftal**

NAFTAL, en plus de son rôle de leader dans la distribution et la commercialisation des produits pétroliers et gaziers, mène une diversité d'activités clés pour répondre aux besoins du marché algérien. Parmi ces activités principales, on peut citer :

- L'enfûtage des gaz de pétrole liquéfié (GPL)
- La formulation des bitumes
- La distribution, le stockage et la commercialisation des carburants, GPL, lubrifiants, bitumes, pneumatiques, GPL/carburant, et produits spéciaux.[1][2]

## **I.2.2 Produits GPL**

Naftal commercialise principalement deux types de GPL :

- Le propane (P) : Naftal propose des bouteilles de propane de différentes tailles, notamment les modèles P11 et P35 (35 kg net + 35 kg de propane). [3]
- Le butane (B) : Les bouteilles de butane les plus courantes sont les modèles B13 (13 kg net + 13 kg de butane) et B3 (3 kg net + 3 kg de butane). [3]
- Carburant GPL/C

Naftal commercialise également le GPL/C (Gaz de Pétrole Liquéfié Carburant), vendu sous la marque "SIRGHAZ". Ce carburant est composé de 100% de propane en hiver, et d'un mélange de 80% propane et 20% butane en été. [3]

## **I.2.3 Moyens de transport utilisés par Naftal pour la livraison du gaz en Algérie**

- Les camions et les tracteurs sont les principaux moyens de transport employés par Naftal pour la livraison des produits gaziers, notamment le GPL (propane et butane) et le GPL/C (carburant GPL).[4]
- Ces véhicules au gaz naturel (comprimé ou liquéfié) permettent à Naftal d'assurer le transport et la livraison des bouteilles de GPL (propane et butane) ainsi que du carburant GPL/C sur l'ensemble du territoire algérien.

## **I.3 Les besoins de la société NAFTAL**

### **I.3.1 Prévision de la demande et gestion des stocks**

La prévision de la demande est une démarche qui consiste à utiliser des méthodes qualitatives ou quantitatives pour estimer la consommation des produits dans les périodes à venir. D'après ces estimations, on planifie à l'intérieur de l'entreprise la production et anticipe le lancement

de la fabrication des produits afin de réduire les délais de livraison. Les prévisions dans ce contexte particulier aident à produire des quantités proches de la demande réelle. [6]

La prévision de la demande joue un rôle très important dans la chaîne logistique intégrée. C'est une clé indispensable pour la planification et la fixation des objectifs de chaque entreprise. La prévision de la demande donne aussi des informations cruciales pour une meilleure gestion des stocks et une adaptation optimale de l'offre à la demande. En effet, des prévisions plus fiables et plus précises favorisent une visibilité sur la demande et constitue ainsi un garant d'une gestion efficace de la supply Chain (SCM), permettant de diminuer l'impact de l'inévitable fluctuation du marché et l'incertitude sur la demande. [5]

Pour la gestion des stocks, il faut constamment trouver un point d'équilibre qui permettra de minimiser les stocks de sécurité tout en évitant la rupture des flux de produits.

En effet si la quantité détenue est beaucoup plus élevée que la demande réelle, l'excédent de production par rapport aux ventes se traduit par un surstockage. Ceci entraîne des pertes dues à l'obsolescence des produits qui ne peuvent plus être vendus aux prix d'origine. Au cas contraire, une production inférieure à la demande entraîne un coût de rupture du stock auquel s'ajoute le coût indirect lié à l'insatisfaction des clients. La prévision de la demande cherche à limiter la marge de l'incertitude sur la demande et ainsi contribuer à une gestion optimale du stock, (Fig.1) [5]

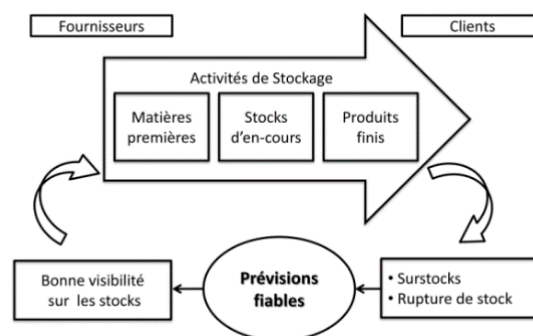


Figure 1 Prévision de la demande et gestion des stocks [5]

Outre la gestion des stocks, la prévision de la demande fournit des informations très utiles Pour l'ensemble des activités de la chaîne logistique (Fig. 2). Les décisions d'achat, marketing, fabrication, direction, budget et logistique sont toutes dépendantes de la prévision.

Ainsi l'estimation de la demande est requise à court, moyen ou long terme. Au niveau opérationnel l'analyse des ventes sert à faire prendre des décisions sur les activités d'approvisionnement, de production, de gestion des stocks et d'organisation des tournées de véhicules, etc... A moyen terme la prévision de la demande est utilisée pour planifier les opérations logistiques et déterminer les ressources nécessaires à la production, à la distribution et au transport. A long terme, l'estimation de la demande a pour objectif la prise de décisions sur un horizon stratégique, tel que le développement de nouveaux produits, l'impartition ou non d'une activité logistique.

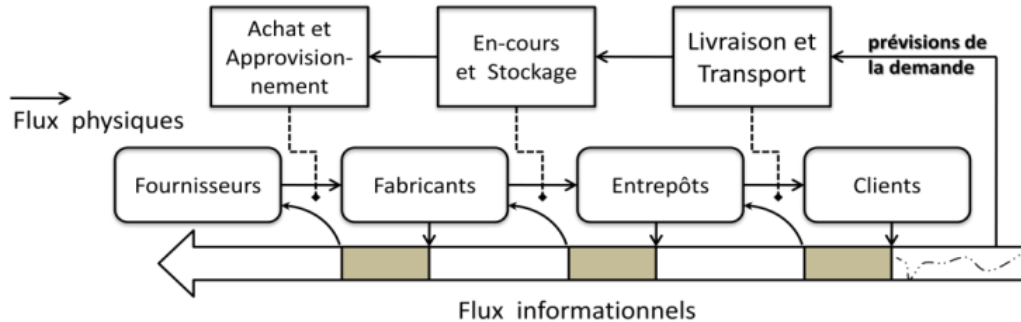


Figure 2 Les prévisions de la demande et leurs rôles [5]

### I.3.2 Précision les niveaux de stock futurs

Naftal a besoin de pouvoir prédire avec précision les niveaux de stock futurs de ses produits pétroliers et gaziers. Cela est essentiel pour assurer une gestion optimale de ses approvisionnements et éviter les ruptures ou les surstockages.

Pour répondre à ce besoin, Naftal doit :

- Analyser en détail les données historiques de ventes de ses différents produits. Cette analyse permettra d'identifier les tendances, les saisonnalités et les autres facteurs influençant la demande.
- Développer des capacités de prévision avancées, en utilisant des outils et des modèles statistiques sophistiqués. Ces outils devront permettre d'établir des prévisions précises des niveaux de stock futurs.

- Intégrer ces prévisions de manière étroite dans ses processus de gestion des stocks, afin d'ajuster en temps réel les niveaux de stocks en fonction de la demande anticipée.
- La capacité de Naftal à prévoir avec précision les niveaux de stock futurs sera cruciale pour optimiser ses opérations d'approvisionnement et garantir la disponibilité de ses produits sur le marché algérien.

### **I.3.3 Planification et optimisation de la livraison**

Naftal doit coordonner de manière efficace les différents transporteurs et optimiser les itinéraires routiers pour assurer une livraison optimale de ses produits pétroliers et gaziers sur l'ensemble du territoire algérien. Cela implique plusieurs éléments clés :[7]

1. **Planification des tournées de livraison :** Naftal doit établir un plan détaillé des tournées de ses véhicules de livraison pour desservir l'ensemble de ses clients de manière optimale.
2. **Optimisation des itinéraires :** Naftal doit utiliser des méthodes d'optimisation pour déterminer les meilleurs itinéraires en termes de coûts, de délais et de satisfaction des clients.
3. **Coordination des transporteurs :** Naftal doit gérer efficacement sa flotte de camions et de tracteurs, en coordonnant les différents transporteurs pour assurer une distribution fluide de ses produits.
4. **Prise en compte des contraintes :** Naftal doit intégrer diverses contraintes dans la planification, comme les capacités de stockage des stations-service, les fenêtres de livraison, etc.

Une planification et une optimisation efficaces de la livraison permettent à Naftal de réduire les coûts de transport, d'améliorer la satisfaction des clients et d'assurer une distribution fluide de ses produits sur l'ensemble du marché algérien.

## **I.4 Problématique :**

### **I.4.1 Défis**

La problématique qui motive la société Naftal à faire appel aux informaticiens et spécialistes en intelligence artificielle est la nécessité de mettre en place des systèmes avancés de prévision de la demande, de gestion des stocks, de planification et d'optimisation de la livraison, ainsi que de personnalisation des livraisons.

L'entreprise Naftal fait face à plusieurs défis en termes de prévision de la demande, de gestion des stocks, de planification et d'optimisation de la livraison. Ci-dessous quelques exemples clé :

- La demande de produits pétroliers peut varier considérablement en fonction de la saisonnalité, des conditions économiques ou encore des événements externes imprévus.
- La précision des prévisions de la demande est souvent limitée par l'incertitude inhérente aux données historiques et aux modèles de prévision utilisés.
- Assurer un approvisionnement suffisant en produits pétroliers tout en évitant les excédents de stocks est un défi constant, ce qui implique la difficulté du maintien des niveaux de stock adéquats pour répondre à la demande et minimiser les coûts de stockage.
- Allouer efficacement les ressources telles que les camions-citernes, les entrepôts et le personnel pour répondre aux besoins de livraison.
- Optimiser les itinéraires de livraison pour minimiser les distances parcourues, réduire les temps de transit et optimiser l'utilisation des ressources.
- Gérer les contraintes logistiques telles que les restrictions de poids, les réglementations de conduite et les conditions de la route pour assurer des livraisons sûres et ponctuelles.

#### **I.4.2 Solution**

Les besoins essentiels de Naftal et les défis décrits ci-dessus nécessitent des solutions technologiques sophistiquées pour améliorer l'efficacité opérationnelle, réduire les coûts, optimiser les niveaux de stock, et garantir une distribution fluide et personnalisée de ses produits pétroliers et gaziers sur le marché algérien. Ainsi, la problématique qui motive l'appel aux informaticiens et spécialistes en intelligence artificielle est de développer des outils et des algorithmes innovants pour répondre de manière efficace et proactive aux défis complexes de la gestion logistique et de la distribution dans le secteur pétrolier de Naftal, en outre l'optimisation des itinéraires pour améliorer l'efficacité des opérations de livraison.

#### **I.5 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté la société NAFTAL, leader dans la distribution et la commercialisation des produits pétroliers et gaziers en Algérie. Nous avons mis en évidence

les principaux défis opérationnels auxquels l'entreprise est confrontée, notamment en termes de gestion de la logistique, de la relation client et de l'adaptation aux évolutions du marché.

Face à ces défis complexes, l'intelligence artificielle (IA) apparaît comme une solution particulièrement adaptée pour répondre aux besoins opérationnels de NAFTAL. En effet, les technologies d'IA offrent de nombreuses possibilités d'optimisation des processus, d'amélioration de la prise de décision et d'innovation dans les services proposés aux clients.

Dans ce qui suit, nous allons explorer en détail comment l'IA peut être mise en œuvre au sein de NAFTAL pour relever ces défis et contribuer à la performance durable de l'entreprise. Nous présenterons les principaux domaines d'application de l'IA dans le contexte de NAFTAL, ainsi que les bénéfices attendus en termes de productivité, de qualité de service

**Chapitre 2 : Solutions d'intelligence artificielle  
pour optimiser les opérations logistiques de Naftal**

## **II.1 Introduction**

Après avoir identifié les principaux besoins de la société Naftal en Algérie dans le chapitre précédent, notamment en termes de prévision de la demande, de gestion des stocks, de planification de la livraison et de personnalisation des services, il est désormais temps de se concentrer sur les solutions à mettre en place pour répondre à ces défis.

Face à la complexité de ces problématiques, l'intelligence artificielle (IA) apparaît comme une technologie particulièrement adaptée pour apporter des réponses innovantes et performantes. Les techniques d'Apprentissage profond, d'optimisation et d'analyse prédictive offertes par l'IA peuvent en effet permettre à Naftal d'améliorer significativement l'efficacité de ses opérations et de se différencier sur le marché.

Ce chapitre se penchera donc sur les différentes solutions basées sur l'IA que Naftal peut mettre en place pour répondre à ses besoins prioritaires. De la prévision de la demande à l'optimisation de la livraison, en passant par la gestion dynamique des stocks, nous examinerons comment l'IA peut contribuer à relever ces défis complexes et à faire de Naftal un acteur logistique de premier plan dans le secteur pétrolier algérien.

## **II.2 Solutions d'intelligence artificielle pour optimiser les opérations logistiques de Naftal**

### **II.1.2 Définition de l'IA**

L'intelligence artificielle (IA) est la simulation des processus de l'intelligence humaine par des machines, en particulier des systèmes informatiques. Les applications spécifiques de l'IA comprennent les systèmes experts, le traitement du langage naturel, la reconnaissance vocale et la vision artificielle [42].

### **II.2.2 IA pour automatisation et optimisation de livraison :**

L'optimisation des itinéraires est considérée comme un casse-tête. Vous avez de nombreux endroits à visiter et vous souhaitez trouver le moyen le plus rapide pour vous y rendre. Mais il ne s'agit pas seulement d'aller en ligne droite. L'intelligence artificielle permet une gestion plus fine et optimisée des itinéraires de livraison. Grâce au travail automatique des algorithmes d'IA, les entreprises peuvent calculer les routes les plus efficaces, en minimisant les coûts et les délais

de livraison. Les systèmes intelligents d'IA analysent en temps réel de nombreuses données, pour déterminer les itinéraires les plus courts et les plus rapides. L'IA ajoute un peu de magie au mélange, en nous aidant à déterminer les meilleurs chemins en examinant des éléments tels que la quantité, la distance, etc. [11]. Cette optimisation des tournées de livraison permet aux entreprises d'être plus réactives et de fournir un service plus fiable à leurs clients [10].

### **II.2.2.1 Les Techniques de l'IA pour l'optimisation D'itinéraire**

Les techniques d'optimisation des itinéraires sont essentielles pour les entreprises qui dépendent du transport pour livrer des marchandises, telles que les sociétés de vente au détail, de carburants et de bouteilles de gaz. Ces techniques visent à réduire le temps, le carburant et la main-d'œuvre nécessaires pour transporter les marchandises, entraînant des coûts de transport et de stockage inférieurs. Avec les progrès technologiques, les entreprises peuvent désormais utiliser des logiciels d'optimisation des routes qui utilisent des algorithmes sophistiqués pour créer un itinéraire optimisé pour leur flotte de véhicules. Ce logiciel prend en compte des facteurs tels que la météo, le trafic et la taille et le poids des marchandises transportées, pour créer l'itinéraire le plus efficace possible. [12]

Voici quelques techniques d'optimisation d'itinéraire basées sur l'IA :

#### **1. Algorithmes heuristiques**

Ce sont des algorithmes qui imitent le processus de sélection naturelle pour trouver des solutions optimales. [13]

Dans sa thèse "APPROCHE EVOLUTIONNAIRE POUR LA RESOLUTION DU PROBLEME DE TOURNEES DE VEHICULES AVEC FENETRES DE TEMPS" [43], Mohamed Barkaoui propose d'utiliser un algorithme génétique pour optimiser les itinéraires de véhicules en minimisant la distance et les retards chez les clients.

#### **2. Machine Learning**

Dans leur ouvrage "Artificial Intelligence: A Modern Approach" Stuart Russell et Peter Norvig soulignent l'importance de justifier le choix d'un algorithme d'IA spécifique lorsqu'on l'utilise dans un contexte donné :

« Parmi ces techniques, l'algorithme A\*. L'algorithme A\* est un outil puissant utilisé en Machine Learning pour trouver le chemin le plus court entre un point de départ et un point d'arrivée dans un graphe ou une grille. Il a de nombreuses applications pratiques, notamment dans la planification de trajectoire, les jeux vidéo, la recherche de chemin dans les réseaux, l'analyse de données géospatiales et l'optimisation de tâches [14] »

### **II.2.2.2 Avantages Des algorithmes de l'IA pour L'optimisation Des Itinéraires**

L'optimisation des itinéraires basée sur l'IA apporte une multitude d'avantages aux entreprises et aux organisations qui s'appuient sur des opérations de transport et de logistique efficaces. Explorons-les :

- **Gagne-temps** : Les itinéraires alimentés par l'IA sont comme des raccourcis sur une carte au trésor. Ils aident les camions de livraison à arriver plus rapidement, ce qui signifie que les colis arrivent rapidement et que tout le monde est content. [11]
- **Utilisation intelligente des ressources** : Imaginez si vous pouviez utiliser des crayons de couleur jusqu'à ce qu'ils deviennent de minuscules picots – pas de gaspillage ! C'est ce que fait l'IA avec les ressources de livraison. Il les utilise de la manière la plus intelligente possible, économisant de l'argent et protégeant l'environnement. [11]
- **Clients satisfaits** : L'IA contribue à y parvenir. Il indique aux camions de livraison les meilleurs itinéraires afin que les colis arrivent à temps, faisant sourire les clients. [11]

### **II.2.1.3 Le choix de l'algorithme A\* pour l'optimisation des itinéraires de livraison**

Après une analyse approfondie et une comparaison minutieuse avec d'autres algorithmes, nous avons ressorti deux algorithmes les plus utilisés : A\* et les algorithmes génétiques. Notre choix s'est porté sur l'algorithme A\* pour l'optimisation des itinéraires. Voici pourquoi :

Pour démontrer que l'algorithme A\* est le choix approprié en matière d'optimisation, il est essentiel de le comparer à l'algorithme génétique, car tous deux sont des algorithmes d'optimisation qui offrent des approches distinctes pour résoudre des problèmes complexes.

#### **II.2.1.4 Les différences entre l'algorithme A\* et l'algorithme génétique par rapport à certains facteurs clés**

##### **1. Vitesse d'exécution**

Lorsqu'on compare la vitesse d'exécution entre l'algorithme A\* et l'algorithme génétique, l'algorithme A\* est généralement plus rapide. L'algorithme A\* est reconnu pour sa rapidité dans la recherche de chemins optimaux, en minimisant le coût total tout en évitant l'exploration inutile de chemins non pertinents et il utilise une heuristique guidée pour explorer efficacement l'espace de recherche. En revanche, l'algorithme génétique est plus complexe et peut nécessiter davantage de temps de calcul en raison de sa nature itérative et de la manipulation des populations d'individus pour trouver des solutions optimales. Ainsi, pour des problèmes de recherche de chemins spécifiques où la rapidité d'exécution est cruciale, l'algorithme A\* est souvent préféré en raison de sa performance plus rapide [15]

##### **2. Espace**

L'algorithme A\* est souvent plus efficace en termes de consommation d'espace car il explore de manière sélective les nœuds du graphe en fonction de l'heuristique, ce qui réduit la quantité d'informations stockées en mémoire [15]

En revanche, l'algorithme génétique peut nécessiter plus d'espace car il maintient une population de solutions potentielles et évolue au fil des générations, ce qui peut entraîner une utilisation plus importante de la mémoire pour stocker les individus et les résultats intermédiaires [16]

##### **3. La complexité du codage**

L'algorithme A\* n'est pas directement affecté par la complexité du codage car il est principalement utilisé pour la recherche de chemins optimaux dans des graphes. Sa mise en

œuvre ne nécessite pas de codage complexe des solutions, mais plutôt une représentation efficace des nœuds et des coûts pour trouver le chemin optimal [15]

En revanche, l'algorithme génétique est sensible à la complexité du codage car il manipule une population de solutions codées sous forme de chromosomes. La qualité du codage utilisé peut influencer la performance de l'algorithme génétique, et un codage inadapté peut rendre la convergence plus lente ou moins efficace [17]

En termes de complexité du codage, l'algorithme A\* n'est pas directement impacté par cette dimension, tandis que l'algorithme génétique nécessite un codage approprié et efficace pour manipuler les solutions de manière optimale [18] [17]

#### **4. Les paramètres sensibles**

L'algorithme A\* est moins sensible aux paramètres que l'algorithme génétique. En général, l'A\* nécessite moins de réglages de paramètres pour fonctionner efficacement, car il se concentre principalement sur la recherche heuristique guidée du chemin optimal sans nécessiter une configuration complexe [15]

En revanche, les performances de l'algorithme génétique sont fortement influencées par les paramètres choisis, tels que la taille de la population, les taux de croisement et de mutation. La sensibilité aux paramètres peut rendre la mise en œuvre de l'algorithme génétique plus délicate et nécessiter un ajustement minutieux pour obtenir des résultats optimaux [21] [17]

Ainsi, en termes de sensibilité aux paramètres, l'algorithme A\* est généralement moins affecté par ces ajustements que l'algorithme génétique, qui demande une configuration plus précise pour atteindre des performances optimales [20] [17].

#### **5. La convergence lente :**

L'algorithme A\* est généralement plus rapide pour converger vers une solution optimale en comparaison avec l'algorithme génétique. Grâce à son approche heuristique guidée, l'algorithme A\* explore de manière efficace l'espace de recherche pour trouver rapidement le chemin optimal entre un point de départ et un point d'arrivée, ce qui réduit le temps nécessaire pour atteindre la solution [15]

En revanche, l'algorithme génétique peut parfois présenter une convergence plus lente vers une solution optimale. Les algorithmes génétiques évoluent progressivement à travers des générations successives en manipulant une population de solutions, ce qui peut nécessiter plus de temps pour converger vers la meilleure solution, surtout dans des cas de problèmes complexes ou mal configurés [19]

Ainsi, en termes de convergence lente, l'algorithme A\* se distingue par sa capacité à converger rapidement vers une solution optimale grâce à son exploration heuristique efficace, tandis que l'algorithme génétique peut parfois présenter une convergence plus lente en raison de sa nature itérative et de la manipulation des populations de solutions sur plusieurs générations [20] [19].

	DFS	BFS	UCS	IDS	Best	HC	Beam	A*
Complete	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y
Optimal	N	N	Y	N	N	N	N	Y
Heuristic	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y
Time	$b^m$	$b^{d+1}$	$b^m$	$b^d$	$b^m$	$bm$	$nm$	$b^m$
Space	$bm$	$b^{d+1}$	$b^m$	$bd$	$b^m$	$b$	$bn$	$b^m$

Figure 3 comparaison de la technique de recherche [33]

#### II.2.2.4 Algorithme A\*

L'algorithme A\* (ou Astar) est un algorithme de recherche de chemin utilisé dans de nombreux domaines, y compris le Machine Learning. [14] Il est largement utilisé pour trouver le chemin le plus court entre un point de départ et un point d'arrivée dans un graphe ou une grille. En Machine Learning, l'algorithme A\* peut être utilisé dans divers cas d'utilisation, tels que : [14]

1. **La planification de trajectoire :** L'algorithme A\* peut être utilisé pour planifier la trajectoire d'un robot ou d'un véhicule autonome. Il peut trouver le chemin le plus court pour atteindre une destination tout en évitant les obstacles.

2. **Jeux vidéo :** L'algorithme A\* est couramment utilisé dans les jeux vidéo pour trouver le chemin optimal pour les personnages non joueurs (PNJ) ou les ennemis. Il permet aux PNJ de naviguer dans l'environnement de manière intelligente et de prendre des décisions basées sur le chemin le plus court vers un objectif.
3. **Recherche de chemin dans les réseaux :** L'algorithme A\* peut être utilisé pour trouver le chemin le plus court dans les réseaux de communication, tels que les réseaux de télécommunications ou les réseaux de transport. Il peut aider à optimiser le routage des données ou des véhicules pour minimiser les coûts ou les temps de trajet.
4. **Analyse de données géospatiales :** L'algorithme A\* peut être utilisé pour analyser des données géospatiales, telles que des cartes ou des images satellites. Il peut être utilisé pour trouver des chemins optimaux dans des environnements géographiques complexes, tels que la planification de routes pour la livraison de colis ou la recherche de chemins pour l'exploration de terrains inconnus.
5. **Optimisation de tâches :** L'algorithme A\* peut être utilisé pour optimiser des tâches dans divers domaines, tels que la planification de production, la logistique ou l'ordonnancement. Il peut trouver le chemin le plus court pour effectuer des tâches dans un ordre optimal, ce qui peut réduire les coûts ou améliorer l'efficacité.

#### II.2.2.5 Fonctionnement Algorithme A\*

A\* est une extension de l'algorithme de Dijkstra.

– Ajout d'une heuristique.

• A\* et les heuristiques sont à la base de beaucoup de travaux en IA :

– Recherche de meilleures heuristiques.

– Heuristiques indépendantes du problème.

– Apprentissage automatique d'heuristiques.

• Pour décrire A\*, on décrit un algorithme générique très simple, dont A\* est un cas particulier [32]

### Définition de la fonction $f(n)$

- La fonction  $f$  désigne la distance entre le nœud initial et le but.
- En pratique on ne connaît pas cette distance : c'est ce qu'on cherche !
- Par contre on connaît la distance optimale dans la partie explorée entre le nœud initial  $n_0$  et un nœud déjà exploré.
- Ainsi, on peut séparer  $f(n)$  en deux parties :  $f(n) = g(n) + h(n)$ 
  - $g(n)$  : coût réel du chemin optimal partant du nœud initial  $n_0$  à  $n$  dans la partie déjà explorée.
  - $h(n)$  : coût estimé du reste du chemin partant de  $n$  jusqu'à un état satisfaisant le but.
  - $h(n)$  est une fonction heuristique. [32]

## **II.2.2.6 Les avantages de l'algorithme A\* par rapport à d'autres algorithmes d'optimisation, en plus de l'algorithme génétique, sont les suivants**

### **1. Efficacité dans la recherche de chemins optimaux**

L'algorithme A\* excelle dans la recherche de chemins optimaux dans des graphes complexes. Sa capacité à utiliser une heuristique guidée pour explorer efficacement l'espace de recherche lui permet de trouver rapidement le chemin le plus court ou optimal entre un point de départ et un point d'arrivée. [15]

### **2. Rapidité de convergence**

Comparé à d'autres algorithmes comme Dijkstra ou les algorithmes génétiques, l'A\* se distingue par sa rapidité de convergence vers une solution optimale. Grâce à son approche heuristique bien conçue, il peut converger rapidement vers la meilleure solution sans nécessiter une exploration exhaustive de toutes les possibilités, ce qui en fait un choix efficace pour des applications où la rapidité est cruciale. [15]

### **3. Adaptabilité à différents types de problèmes**

L'algorithme A\* est polyvalent et peut être appliqué à une variété de problèmes d'optimisation, notamment la planification de trajets, la robotique, les jeux vidéo et bien d'autres domaines. Sa flexibilité et sa capacité à s'adapter à divers contextes en font un outil puissant pour résoudre une multitude de problèmes pratiques. [15]

En résumé, les avantages clés de l'algorithme A\* par rapport à d'autres algorithmes d'optimisation, y compris l'algorithme génétique, résident dans son efficacité éprouvée pour la recherche de chemins optimaux, sa rapidité de convergence vers des solutions optimales et sa polyvalence pour résoudre une variété de problèmes avec succès.[15]

### **II.2.3 IA pour la prévision de la demande**

L'intelligence artificielle (IA) offre des solutions avancées pour aider Naftal à améliorer ses capacités de prévision de la demande et de gestion des stocks.

#### **II.2.3.2 Le choix de la méthode pour la prévision de la demande**

##### **1. Apprentissage Profond et IA**

Les méthodes de prévision traditionnelles s'appuient souvent sur des données historiques et des modèles statistiques simples. Cependant, la technologie a inauguré une nouvelle ère où les algorithmes sophistiqués et les techniques d'apprentissage profond (DL) occupent une place centrale. [25]

Les modèles de Deep Learning peuvent analyser de vastes ensembles de données, identifier des modèles et s'adapter à l'évolution de la dynamique du marché. Par exemple, les réseaux neuronaux récurrents (RNN) peuvent capturer les dépendances séquentielles. [25]

##### **2. Les Réseaux de Neurones Récurrents (RNN) et LSTM**

Le choix d'utiliser les Réseaux de Neurones Récurrents (RNN), et plus particulièrement les modèles LSTM, pour la prévision de la demande chez Naftal s'appuie sur plusieurs facteurs clés présents dans les données dont dispose l'entreprise.

##### **2.1 Le choix des réseaux de neurones récurrents (RNN)**

Pour l'analyse de données temporelles, logistiques et opérationnelles, l'utilisation des réseaux de neurones récurrents (RNN) se justifie par plusieurs facteurs clés. Tout d'abord, les données sont complexes en raison de la variété des informations, des relations entre les données, et des aspects temporels et séquentiels impliqués. Les RNN sont particulièrement efficaces pour traiter ces caractéristiques, car ils peuvent prendre en compte les dépendances temporelles et les séquences dans les données, ce qui est crucial pour comprendre les tendances, les fluctuations

et les modèles récurrents présents dans les opérations logistiques et opérationnelles [26]. De plus, les RNN sont capables de gérer des données de différentes natures, telles que des séries temporelles, des données textuelles ou des données multimédias, ce qui les rend polyvalents pour une analyse approfondie et des prévisions précises [27] [28]. En intégrant ces capacités avec la fiabilité des données et la taille significative de l'ensemble de données, le choix des RNN offre une approche robuste pour explorer et exploiter pleinement les informations contenues dans les données de la société NAFTAL.

## **2.2 Sélection du modèle**

D'après notre base de données qui contient des données temporelles, les **LSTM** (Long Short-Term Memory) seraient plus adaptés que les **GRU** (Gated Recurrent Unit). Les LSTM sont conçus pour apprendre des dépendances à long terme, ce qui peut être crucial pour capturer des schémas complexes et des relations temporelles sur une longue période. Les LSTM sont capables de mémoriser des informations sur le passé sur une plus longue durée [3][4]. Ce qui peut être bénéfique pour prédire la demande de produits basée sur des données historiques telles que celles présentées dans notre extrait de base de données. Ainsi, pour une tâche de prédiction de la demande basée sur des données temporelles et des séquences de composants, les LSTM pourraient être plus adaptés en raison de leur capacité à gérer des dépendances à long terme et à mémoriser des informations sur une période prolongée.

## **2.3 Prévisions des ventes avec LSTM**

### **1. Comprendre les prévisions de ventes et le rôle du LSTM :**

- L'importance de la prévision des ventes :

D'un point de vue commercial, la prévision des ventes sert de boussole, guidant les entreprises dans des eaux incertaines. Que vous soyez un géant de la vente au détail, une startup technologique, il est essentiel de comprendre la demande future.[5]

La planification stratégique est facilitée par des prévisions précises, qui permettent d'allouer efficacement les ressources, d'optimiser les calendriers de production et

d'aligner les efforts de marketing. De plus, la gestion des stocks est améliorée grâce à la prévision, qui permet de maintenir des niveaux de stocks optimaux et d'éviter les pertes liées au surstockage ou au sous-stockage. Enfin, les prévisions de ventes sont essentielles pour les investisseurs, les prêteurs et les parties prenantes, qui utilisent ces informations pour évaluer la santé financière et le potentiel de croissance d'une entreprise.[5]

- Défis liés à la prévision des ventes :

- **Non-linéarité** : les données de ventes présentent souvent des modèles non linéaires en raison de la saisonnalité, des promotions et de facteurs externes (par exemple, vacances, conditions économiques).[5] [8]

- **dépendances à long terme** : les méthodes traditionnelles ont du mal à capturer les dépendances à long terme, en particulier lorsque les données historiques influencent les ventes futures.[5][6]

- **bruit et valeurs aberrantes** : les données de ventes réelles sont bruitées, contenant des pics irréguliers, des baisses soudaines et des valeurs aberrantes.[5][8]

- LSTM :

LSTM est un type de réseau neuronal récurrent (RNN) conçu pour gérer des données séquentielles. Contrairement aux réseaux feedforward traditionnels, les modèles LSTM conservent la mémoire au fil du temps.[5]

L'architecture du LSTM comprend des cellules mémoire, des portes d'entrée, des portes d'oubli et des portes de sortie. Ces composants lui permettent de capturer les dépendances à long terme et de s'adapter aux modèles changeants.

- Comment fonctionne LSTM

- **Cellules mémoire** : les cellules mémoire du LSTM stockent les informations au fil du temps. Ils décident de ce qu'il faut retenir et de ce qu'il faut oublier.[10]

- **Input Gate** : détermine la quantité de nouvelles informations à ajouter aux cellules de mémoire. [10]

- **Forget Gate** : contrôle les informations à supprimer des cellules de mémoire. [10]
- **Output Gate** : calcule la sortie en fonction de l'entrée actuelle et du contenu de la mémoire.

[10]

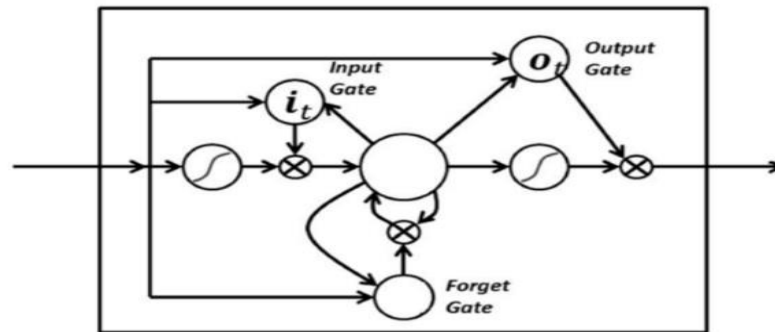


Figure 4 les trois portes de LSTM (entrée, oublier et sortie porte)

**Exemple** : lors de la prévision des ventes du mois prochain, LSTM prend en compte les ventes passées, les promotions et les tendances saisonnières.

## 2. Explorer les dépendances à long terme dans les données de vente

### Long terme

- Comprendre les dépendances à long terme dans les données de vente

Les données de vente sont un trésor d'informations, reflétant les flux et reflux du comportement des consommateurs, les tendances du marché et les facteurs externes. Lors de l'analyse des données de ventes, nous rencontrons souvent des tendances qui s'étendent au-delà des fluctuations à court terme. Ces dépendances à long terme jouent un rôle crucial dans des prévisions précises.[5]

- Modèles temporels et saisonnalité

Les données de ventes présentent des modèles récurrents au fil du temps. Ces modèles peuvent être quotidiens, hebdomadaires, mensuels ou saisonniers.

### Exemple :

Considérons un commerce vendant des bouteilles de gaz dans l'hiver, avec des ventes des bouteilles de gaz augmentant pendant les mois les plus froids (saisonnalité) et une tendance

hebdomadaire où les week-ends voient des ventes plus élevées, peut être considéré comme une dépendance à long terme.

Dans ce cas, la saisonnalité et la tendance hebdomadaire représentent des schémas de vente qui se répètent sur une période prolongée et qui influencent de manière constante les ventes de manière prévisible. Ces dépendances à long terme sont des facteurs importants à prendre en compte lors de la prévision de la demande, car ils reflètent des tendances historiques qui persistent sur une période prolongée et qui ont un impact significatif sur les ventes à long terme.

## **II.2.4 IA pour la prévision de niveaux stock future**

La gestion efficace des stocks est cruciale pour toute entreprise cherchant à maintenir des opérations fluides et à répondre aux demandes du marché. Cependant, prédire avec précision les niveaux de stock futurs reste un défi majeur pour de nombreuses entreprises. Pour relever ce défi, nous avons recours à l'intelligence artificielle.

### **I.2.4.1 Optimisation des Stocks par la Prédiction des Ventes avec l'Intelligence Artificielle**

Pour prédire les niveaux de stock futurs, il faut se baser sur la prévision des ventes. En effet, la prévision des ventes permet d'estimer la demande future pour nos produits. [35]

À partir de prévision des ventes, nous pouvons générer automatiquement des prévisionnels de stock en se basant sur notre historique de ventes et de commandes clients. Cela nous permet d'anticiper les ruptures de stock et de dimensionner nos approvisionnements de façon optimale. Bien que la prévision des ventes ne soit pas une science exacte, c'est un outil indispensable pour piloter efficacement nos stocks et notre trésorerie. [35] [36]

#### **II.2.4.2 Comment simuler les niveaux de stock futurs à partir des prédictions de ventes générées par le modèle LSTM :**

Après avoir effectué le processus de prévision des ventes, on peut prévoir les niveaux de stock futurs en simulant dynamiquement l'évolution des stocks en fonction des prédictions de ventes.

#### **II.2.4.3 Fonctionnement**

1. Des valeurs initiales sont calculées pour le stock initial, la quantité de réapprovisionnement et le point de commande. Ces valeurs sont basées sur les données historiques de demande.
2. Une boucle est utilisée pour parcourir les prédictions de ventes pour chaque période future.
3. Pour chaque période, le niveau de stock actuel est réduit de la quantité des ventes prédites.
4. Si le niveau de stock actuel devient inférieur au point de commande, une nouvelle quantité de réapprovisionnement est ajoutée au stock.
5. Le niveau de stock actuel est enregistré dans une liste pour chaque période.
6. Les niveaux de stock prédits sont ajoutés au DataFrame de test pour être utilisés ultérieurement.
7. Enfin, les niveaux de stock prédits sont tracés pour visualiser l'évolution future des stocks en fonction des prévisions de ventes.

Ce processus permet de simuler dynamiquement les niveaux de stock futurs en tenant compte des prédictions de ventes, des quantités de réapprovisionnement et des points de commande. Cela aide à anticiper les besoins en stock et à prendre des décisions éclairées en matière de gestion des stocks.

## **II.3 Conclusion**

Les besoins de Naftal en matière d'optimisation de la chaîne logistique peuvent être résolus grâce à l'intelligence artificielle. En effet, l'IA permet d'optimiser la planification des livraisons et peut grandement améliorer la prévision des ventes et peut optimiser la gestion des stocks en prédisant dynamiquement les niveaux de stock futurs en fonction des prévisions de ventes.

Le chapitre suivant abordera la modélisation UML pour formaliser et structurer les différents aspects de la solution proposée, en fournissant une représentation visuelle des processus, des entités et des interactions au sein du système d'optimisation de la chaîne logistique de Naftal.

## **Chapitre 3 : Modélisation UML**

## **III.1 Introduction**

Dans cette partie je présente un ensemble des diagrammes qui définissent l'architecture du notre projet, sa structure et son analyse, nous avons choisi comme langage de modélisation, la méthode UML.

## **III.2 Modélisation UML**

UML permet de définir et de visualiser un modèle, à l'aide de diagrammes. Un diagramme UML est une représentation graphique, qui s'intéresse à un aspect précis du modèle. C'est une perspective du modèle, pas "le modèle". Chaque type de diagramme UML possède une structure. Un type de diagramme UML véhicule une sémantique précise (un type de diagramme offre toujours la même vue d'un système). Combinés, les différents types de diagrammes UML offrent une vue complète des aspects statiques et dynamiques d'un système [42]

### **III.2.1 Diagramme de classe :**

Ce diagramme de classes illustre une application avancée pour optimiser la planification des livraisons chez Naftal. Il met en lumière les principaux intervenants et leurs interactions au sein du système de distribution.

Cette représentation graphique structurée des différents éléments de l'application en facilite grandement la conception et le développement. Elle permet de visualiser clairement les rôles et responsabilités de chaque acteur, ainsi que les liens qui les unissent, offrant ainsi une vue d'ensemble essentielle à l'élaboration d'un système de livraison performant et intégré.

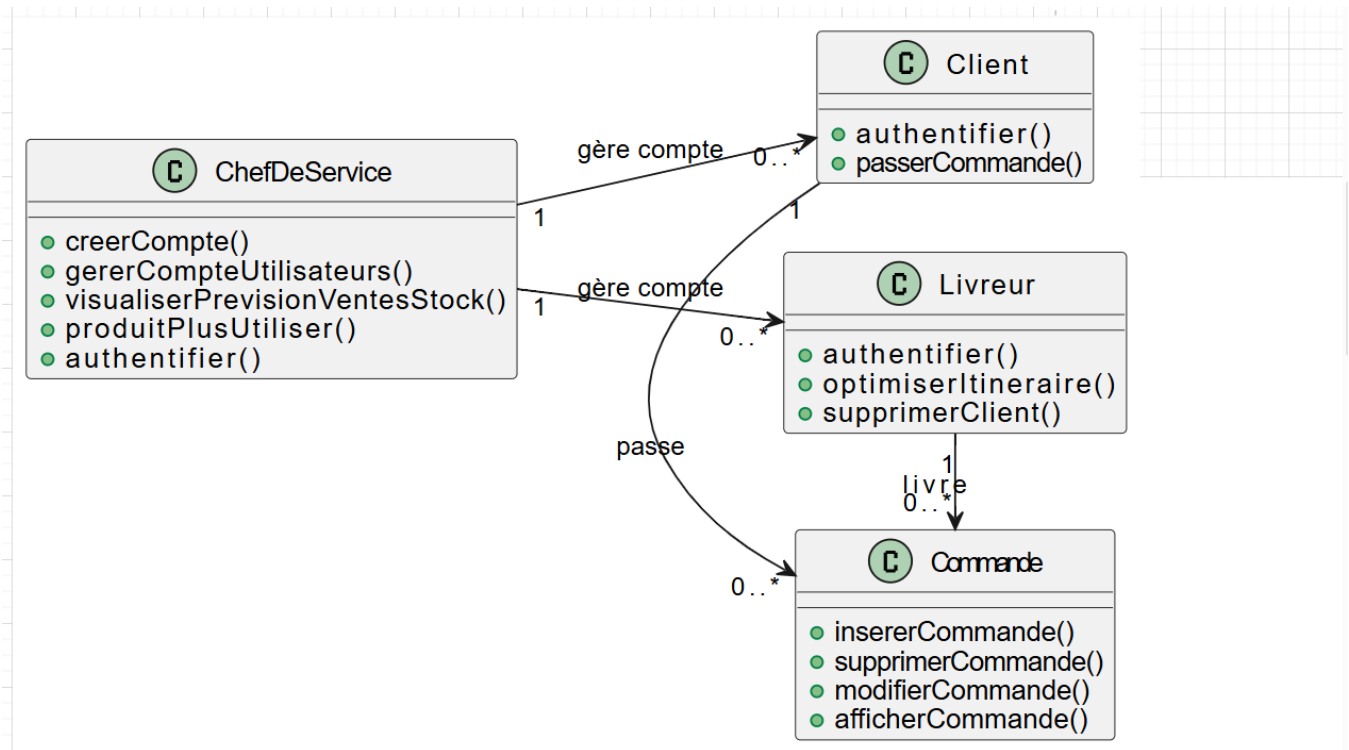


Figure 5 Diagramme de classe

### III.2.2 Diagramme de Cas d'utilisation :

Pour illustrer les cas d'utilisation de notre système à l'aide d'un diagramme de cas d'utilisation, nous mettons en avant les divers acteurs impliqués dans notre application, à savoir le livreur, le client et le chef service. Chaque acteur interagit avec le système pour réaliser des actions spécifiques, générant ainsi des résultats observables pertinents pour chacun d'eux. Cette représentation visuelle des cas d'utilisation met en lumière les interactions fonctionnelles entre les acteurs et le système.

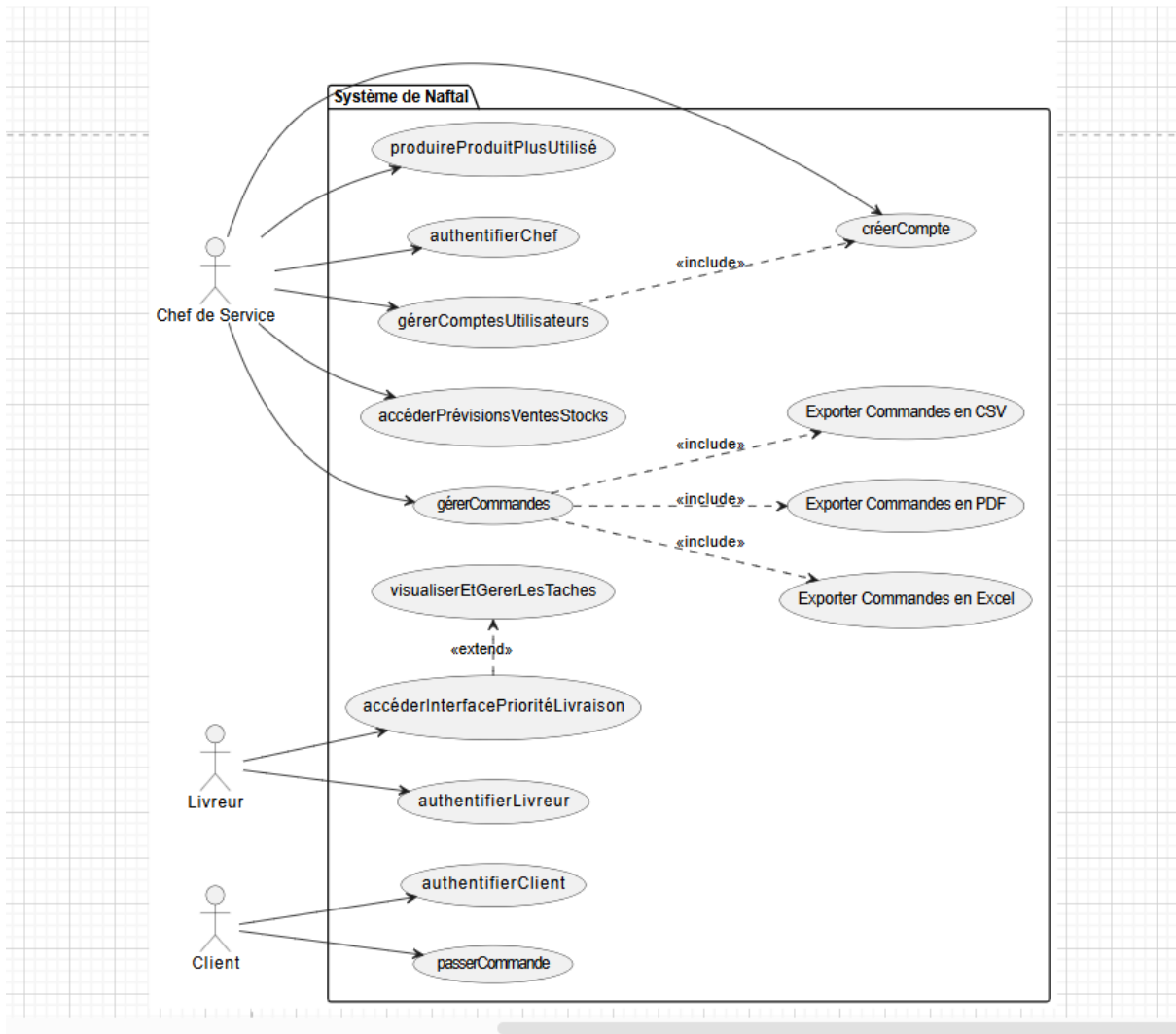


Figure 6 Diagramme de Cas d'utilisation

### III.2.3 Diagramme de séquence :

#### III.2.3.1 Authentification :

Ce diagramme de séquence illustre le processus d'authentification des utilisateurs (Chef de Service, Livreur, Client) ainsi que la gestion des comptes, montrant les interactions entre ces acteurs lors de la création de compte, de la demande de connexion, et de la vérification des identifiants

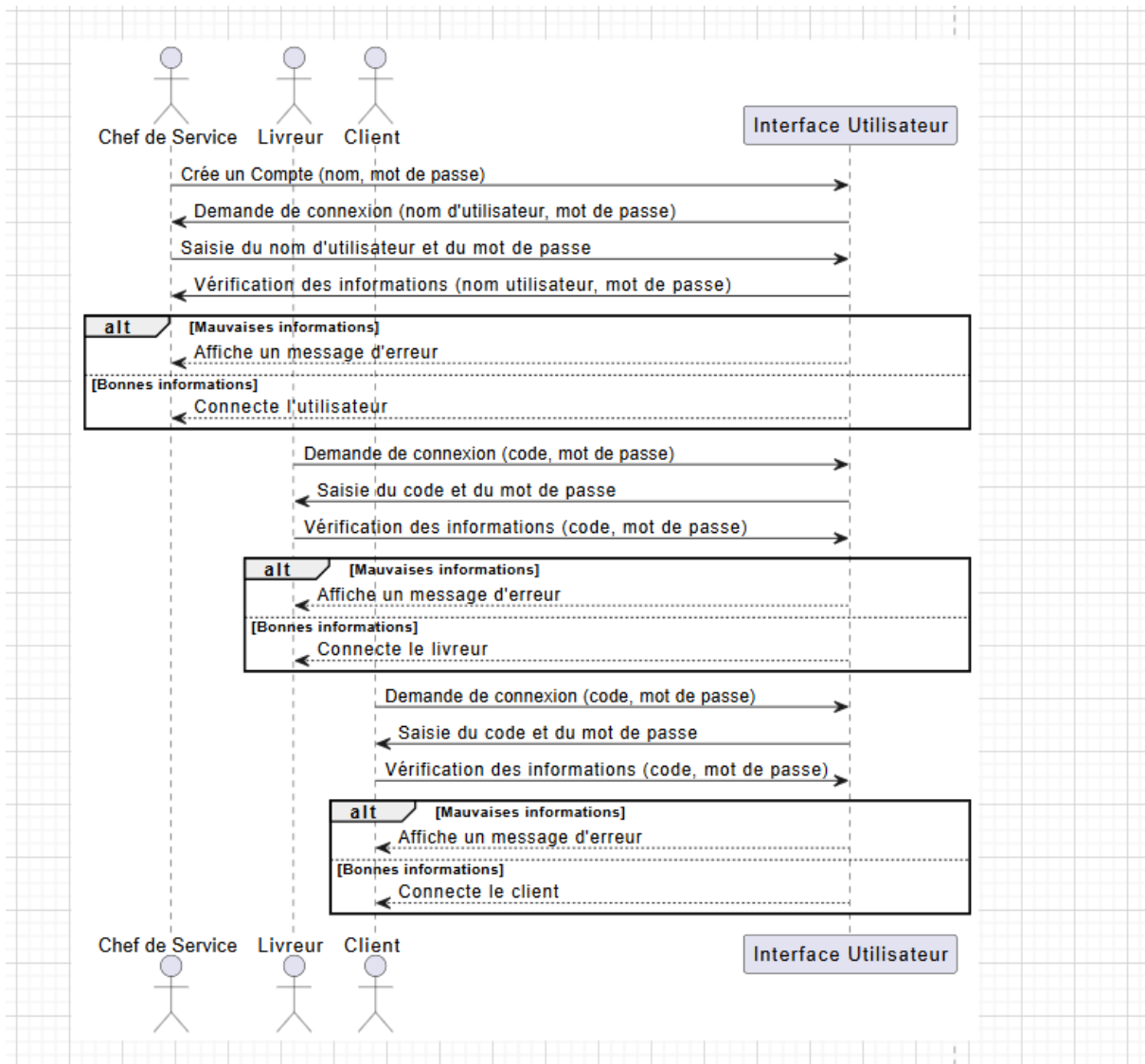


Figure 7 Diagramme de séquence "Authentification"

### III.2.3.2 Ajout un client :

Le chef de service est responsable de créer les comptes des clients dans le système. Lorsqu'un nouveau client souhaite passer des commandes, le chef de service ouvre un compte pour lui et lui attribue un code d'identification unique ainsi qu'un mot de passe. Ces identifiants permettent au client d'accéder à l'application de manière sécurisée et de passer ses commandes en ligne.

Le chef de service s'assure que chaque client dispose des autorisations nécessaires pour interagir avec le système de commande. Cette étape cruciale garantit que seuls les clients enregistrés et authentifiés peuvent effectuer des transactions, renforçant ainsi l'intégrité et la fiabilité du processus de commande.

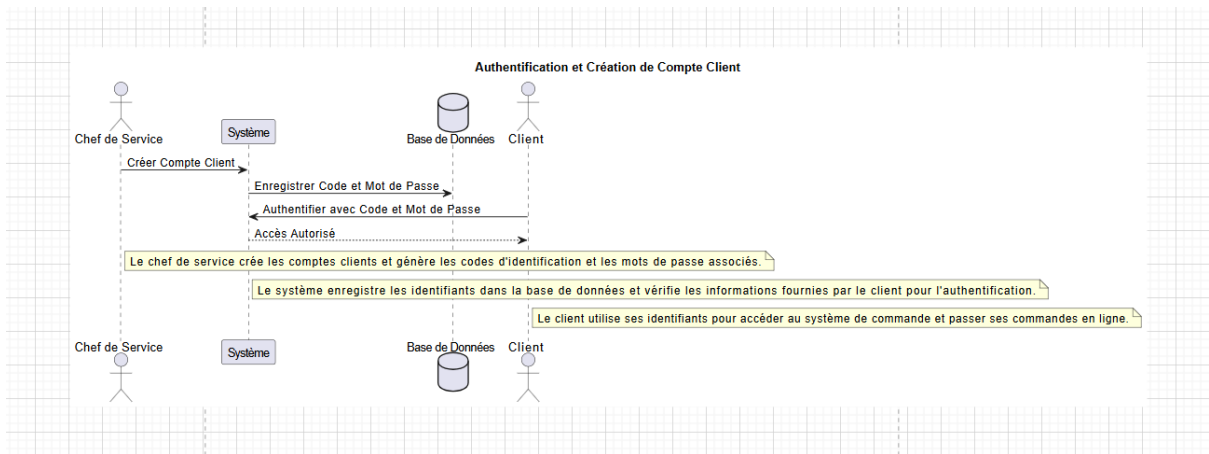


Figure 8 Diagramme de séquence " Ajouter client "

### III.2.3.3 Supprimer client :

Le chef de service joue un rôle essentiel dans la gestion des comptes clients du système. En cas de besoin de suppression d'un client, le chef de service est chargé de procéder à la désactivation du compte du client concerné. En effectuant cette action, le client perd l'accès à l'application et se voit empêché de passer des commandes. Cette mesure garantit que seuls les clients actifs et autorisés peuvent utiliser le système de commande, renforçant ainsi la sécurité et la fiabilité du processus de gestion des comptes clients.

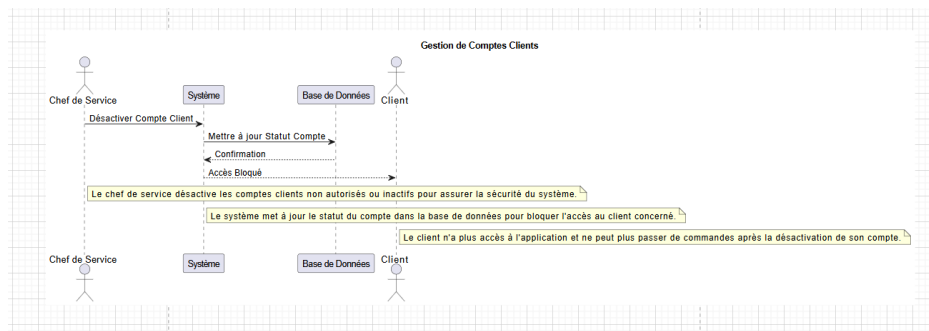


Figure 9 Diagramme de séquence " Supprimer client "

### III.2.3.4 Livreur :

Les livreurs reçoivent leurs identifiants de connexion (code et mot de passe) du chef de service. Ils saisissent ces identifiants sur la page de connexion. Après une authentification réussie, ils accèdent à l'interface "Commandes et Clients pour le Livreur".

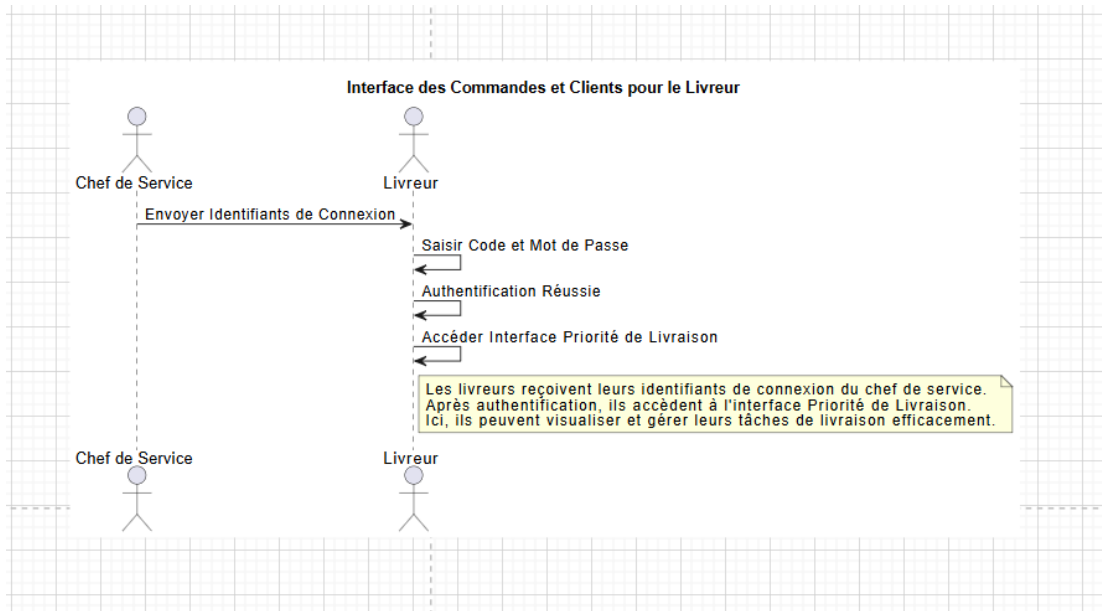


Figure 10 Diagramme de séquence "Livreur"

### III.2.3.5 Chef service :

Le diagramme de séquence pour le Chef de Service illustre le processus d'authentification et les opérations successives dans le système. Après s'être authentifié, le Chef de Service peut créer des comptes, gérer les comptes utilisateurs, et consulter les produits les plus utilisés. Ensuite, il interagit avec un modèle LSTM pour visualiser les prévisions des ventes et des stocks, recevant les données de prévision en retour. En cas d'échec de l'authentification, un message d'erreur est affiché.

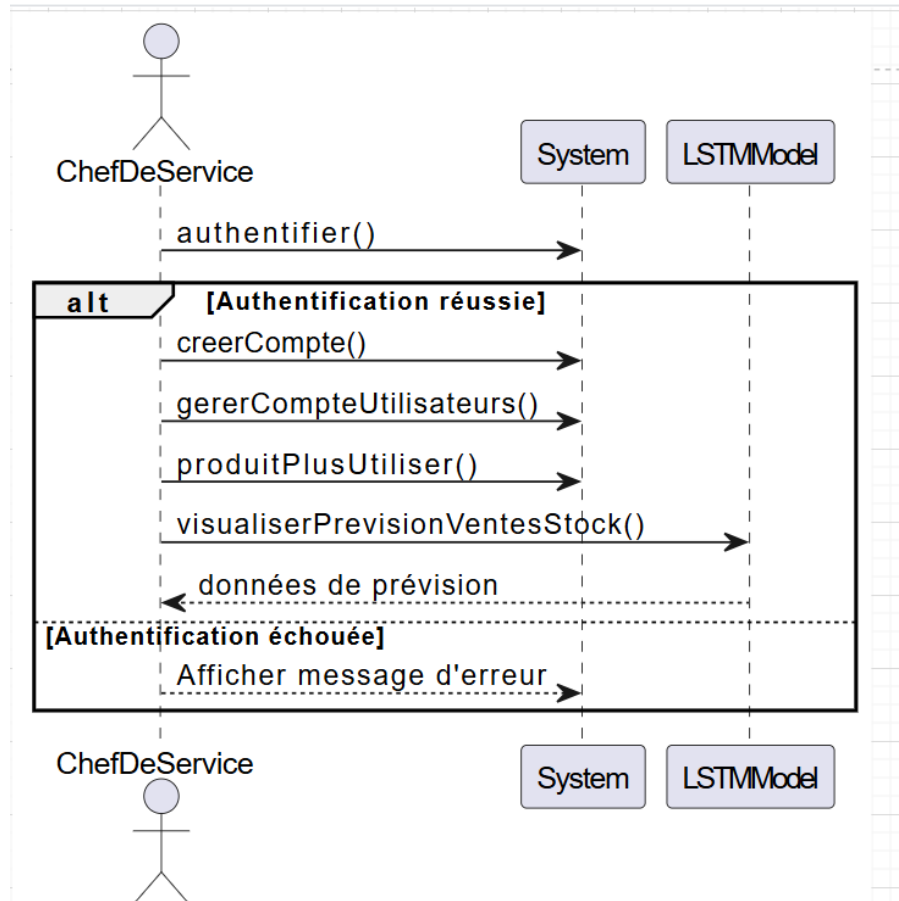


Figure 11 Diagramme de séquence "Chef service"

### III.3 Conclusion :

En conclusion de ce chapitre consacré à la modélisation UML de notre application, nous avons présenté une vue d'ensemble de l'architecture du système et des interactions entre ses différents composants sous forme des diagrammes UML : diagramme de classe, de cas d'utilisation, diagramme de séquence.

## **Chapitre 4 : Développement et application**

## **IV.1 Introduction :**

Dans ce dernier chapitre, nous allons décrire l'environnement d'implémentation et la structuration logicielle de notre application.

## **IV.2 Outils de développement**

Dans cette section, nous présentons l'environnement de travail de notre Application.

### **IV.2.1 Machine et système d'exploitation**

Notre application est réalisée sur la configuration de la machine suivante :

- Machine : LENOVO\_MT\_20FA\_BU\_Think\_FM\_ThinkPad T460s (Intel®Core™i5-6300U CPU @2.40GHz, RAM 8gb).
- Système d'exploitation : Windows 13 Home.

### **IV.2.2 L'environnement de travail**

Les environnements de développement intégrés (EDI) sont des programmes qui regroupent un ensemble d'outils pour le développement de Logiciels. D'une façon générale, un EDI contient un éditeur de texte, un Compilateur, des outils automatiques de fabrication, et très souvent un Débogueur.[37]

Nous avons opté pour Visual Studio Code comme un environnement de développement, Visual Studio Code est un éditeur de code source léger mais puissant qui s'exécute sur le bureau et est disponible pour Windows, MacOS et Linux. Il est livré avec une prise en charge intégrée de JavaScript, TypeScript et Node.js et dispose d'un riche éco-système d'extensions pour d'autres langages (tels que C, Java, Python, PHP, Go) et des environnements d'exécution (tels que .NET et Unity) [38]

La version que nous avons utilisée est Visual Studio Code 1.89.1.

### **IV.2.3 Langage de programmation**

Parmi tous les langages existants, notre choix a porté sur le langage de programmation Python pour développer notre logiciel, ce langage a été créé en 1989 par Guido van Rossum, aux Pays-Bas. Le nom Python vient d'un hommage à la série télévisée Monty Python's Flying Circus dont G. Van Rossum est fan. La première version publique de ce langage a été publiée en 1991[39].

Dans le cadre de ce projet, j'ai utilisé la version 3.11.8 de Python, publiée le 13 décembre 2022, qui apporte de nombreuses améliorations et corrections par rapport aux versions précédentes.

Ce langage de programmation présente de nombreuses caractéristiques intéressantes [39] :

- Il est multiplateforme. C'est-à-dire qu'il fonctionne sur de nombreux systèmes d'exploitation: Windows, Mac OS X, Linux, Android, iOS, depuis les mini-ordinateurs Raspberry Pi jusqu'aux supercalculateurs.
- C'est un langage de haut niveau. Il demande relativement peu de connaissance sur le fonctionnement d'un ordinateur pour être utilisé.
- C'est un langage interprété. Un script Python n'a pas besoin d'être compilé pour être exécuté, contrairement à des langages comme le C ou le C++.
- Il est orienté objet. C'est-à-dire qu'il est possible de concevoir en Python des entités qui miment celles du monde réel (une cellule, une protéine, un atome, etc.) avec un certain nombre de règles de fonctionnement et d'interactions.
- Il est relativement simple à prendre en main.
- Enfin, il est très utilisé en bio-informatique et plus généralement en analyse de données.

## **IV.2.4      Système de gestion de base de données**

Nous accédons à notre base de données à l'aide d'Excel et de MySQL Workbench. MySQL Workbench est un outil de conception visuelle pour les bases de données qui facilite la gestion des bases de données MySQL. Il offre des fonctionnalités avancées pour la modélisation des données, le développement SQL, l'administration et bien plus encore, tout en étant convivial et puissant. [40]

Excel est un tableur largement utilisé pour l'analyse de données et le stockage de petits volumes de données, offrant une grande flexibilité dans la manipulation et la visualisation des informations. Ensemble, ces outils permettent une gestion efficace des données sans nécessiter de compétences techniques avancées, et sont compatibles avec les systèmes d'exploitation les plus courants. [41]

Lors de la création d'un compte, nous utilisons SQLite3 comme système de gestion de base de données pour enregistrer de manière sécurisée les informations de connexion, notamment l'adresse email et le mot de passe, afin de garantir l'authentification des utilisateurs.

### **IV.2.4.1      Présentation base de données de société NAFTAL**

#### **IV.2.4.1.1    Définition de la base de données**

- **Nom de la base de données** : Base de données de planification de livraison pour NAFTAL
- Les entrées de la base de données de planification de livraison pour NAFTAL sont des enregistrements de chaque opération de livraison effectuée par l'entreprise. Chaque entrée comprend les informations détaillées suivantes :
  - **Numéro** (num) : Identifiant unique pour chaque opération de livraison.
  - **Date d'opération** (operation\_date) : Date à laquelle la livraison a eu lieu.
  - **Client** (client) : Nom ou code du client recevant la livraison.
  - **Raison sociale** (company\_name) : Nom complet de l'entreprise cliente.
  - **Secteur d'activité** (business\_sector) : Domaine d'activité de l'entreprise cliente.
  - **Type de transport** (transport\_type) : Mode de transport utilisé pour la livraison (par exemple, routier, maritime, aérien).
  - **Code camion SR** (truck\_code) : Code identifiant le camion de service rapide utilisé.
  - **Matricule camion SR** (truck\_registration\_number) : Numéro d'immatriculation du camion de service rapide.
  - **Tracteur** (tractor) : Type de tracteur utilisé pour la livraison.
  - **Matricule de tracteur** (tractor\_registration\_number) : Numéro d'immatriculation du tracteur.
  - **Distance** (distance) : Distance parcourue pour la livraison.
  - **Matricule du chauffeur** (driver\_id) : Identifiant du chauffeur responsable de la livraison.
  - **Nom du chauffeur** (driver\_name) : Nom complet du chauffeur responsable de la livraison.
  - **Produit** (product) : Nom du produit livré.
  - **Désignation du produit** (product\_designation) : Description détaillée du produit.
  - **Emballage** (packaging) : Type d'emballage utilisé pour le produit.
  - **Quantité** (quantity) : Quantité de produit livrée.
  - **Coefficient** (coefficient) : Coefficient utilisé dans le calcul de la planification de livraison.

Chaque entrée représente une transaction spécifique où un produit a été livré à un client par NAFTAL, avec des informations détaillées sur les véhicules, les chauffeurs et les caractéristiques de la livraison.

**1. Nature de données :**

- **Les données sont temporelles**, car la base de données contient des informations temporelles, notamment dans la colonne "Date Opération" qui enregistre les dates des opérations. Les données temporelles se réfèrent à toute information qui est liée au temps ou à des événements chronologiques. Dans notre cas, la présence de la colonne "Date Opération" indique que ces données sont temporelles, car elles enregistrent des opérations spécifiques effectuées à des moments précis.
- **Les données sont aussi logistiques** : se réfèrent aux informations utilisées dans la gestion des opérations logistiques, qui consistent à planifier, organiser et exécuter le flux efficace des biens, des services et des informations, de leur point d'origine à leur point de destination, afin de répondre aux exigences des clients et aussi inclut *Informations sur les commandes, Transport et expédition, Données sur les clients et Coûts logistiques (cout de transport)*.
- **Les données sont opérationnelles** qui décrivent les opérations logistiques, les détails des clients, les informations sur les produits, les quantités, les véhicules de transport, les chauffeurs, etc. Ces données sont utilisées pour gérer efficacement les opérations de transport et de distribution de gaz, suivre les commandes, planifier les livraisons, optimiser les routes, etc. Elles sont cruciales pour le bon fonctionnement quotidien de l'entreprise et pour prendre des décisions opérationnelles stratégiques.

**2. La qualité des données :**

- **Précision** : Les données sont précises dans la mesure où chaque champ est rempli avec des informations spécifiques, telles que les numéros d'opération, les dates, les clients, les produits, les quantités, etc.
- **Complétude** : Les données sont complètes, car chaque ligne contient des informations sur toutes les variables spécifiées, comme le numéro d'opération, la date, le client, le produit, la quantité, etc.

- **Cohérence** : La cohérence des données fait référence à la manière dont les données se rapportent logiquement les unes aux autres. Dans cette base de données, les données sont cohérentes dans le sens où les champs tels que le client, le produit, la quantité, etc., sont pertinents pour une opération logistique ou commerciale.
- **Pertinence** : La pertinence des données dépend de leur adéquation par rapport à l'objectif de l'analyse. Et tant que nous voulons chercher à prédire la demande de produits, les données sur les clients, les produits, les quantités et les dates sont pertinents et utiles.
- **Fiabilité** : La fiabilité des données fait référence à leur exactitude et à leur crédibilité. Dans ce cas, les données sont fiables car la source des données c'est la société NAFTAL

### 3. Taille des données :

La taille des données fait référence à la quantité de données disponibles pour l'analyse. Cela mesuré en termes de nombre de lignes (observations) ou de colonnes (variables). Notre base de données comportant 21588 de lignes de données et 18 colonnes.

### 4. La complexité des données :

Les données d'une société NAFTAL qui vend du gaz sont complexes en raison de plusieurs facteurs :

- **Variété des données** : Les données peuvent inclure une variété d'informations telles que les clients, les produits (types de gaz, quantités, emballages, etc.), les opérations de vente, les véhicules de transport, les chauffeurs, les distances parcourues, les coefficients de tarification, etc.
- **Relations entre les données** : Il peut y avoir des relations complexes entre les clients, les ventes, les livraisons, les produits, les chauffeurs, les véhicules, etc. Par exemple, un client peut effectuer plusieurs commandes, chaque commande pouvant contenir plusieurs produits livrés par différents chauffeurs et véhicules.
- **Gestion des stocks et des livraisons** : La gestion des stocks de gaz, des prévisions de demande, des routes de livraison optimales, et la synchronisation des opérations de vente et de livraison peuvent ajouter à la complexité des données.

- **Aspects temporels et séquentiels** : Les données peuvent être temporelles, avec des séquences d'opérations de vente et de livraison, des historiques de commandes et des tendances de demande qui nécessitent une analyse et des prévisions à long terme.
- **Analyse des performances et des tendances** : La société peut également avoir besoin d'analyser les performances de vente, les tendances de marché, les prévisions de demande, les stratégies de tarification, etc., ce qui nécessite une analyse avancée des données.

#### **IV.2.4.2 Application de modèle LSTM sur la base de données historiques de Société NAFTAL :**

- Pour prévoir la demande d'un produit en utilisant un Réseau de Neurones Récurrents (RNN), voici les étapes à suivre :

**1. Collecte des Données :** Rassemblez des données historiques sur la demande du produit, y compris les chiffres de vente, la saisonnalité, les promotions et les facteurs externes pouvant influencer la demande.[1][2]

Questions à poser :

- **Disponibilité des données :**

Oui, les données nécessaires pour mettre en place les solutions d'intelligence artificielle chez Naftal semblent être disponibles. Les sources fournies indiquent que l'entreprise dispose d'un historique de données de ventes, de stocks et d'opérations logistiques qui pourront alimenter les modèles prédictifs et d'optimisation.

En effet, en tant que principale entreprise de distribution de produits pétroliers en Algérie, Naftal collecte et conserve probablement une grande quantité d'informations détaillées sur ses activités, notamment :

Les données de ventes par produit, par région et par canal de distribution.

Les données de stocks et de mouvements de produits dans le réseau logistique.

Les données sur les livraisons, les itinéraires, les délais et la satisfaction des clients.

Cette disponibilité des données historiques est un atout majeur pour pouvoir mettre en place avec succès des solutions d'IA avancées pour la prévision de la demande, l'optimisation des stocks et la planification des livraisons chez Naftal.

- Sont-elles accessibles en volume suffisant ?

Les données sont accessibles en volume suffisant pour répondre aux besoins d'analyse et de prévision chez Naftal. Avec une base de données historiques couvrant une période d'un an, l'entreprise dispose d'une quantité de données significative pour alimenter les modèles d'intelligence artificielle et effectuer des analyses approfondies. Cette base de données d'une année devrait permettre de capturer les tendances, les saisons et les variations de la demande, ainsi que de fournir des informations précieuses pour optimiser la gestion des stocks et des opérations logistiques.

- L'historique des données s'étend-il sur une durée suffisante pour pouvoir prédire les variables cibles ?

L'historique des données dont dispose Naftal semble s'étendre sur une durée suffisante pour pouvoir prédire efficacement les variables cibles à l'aide de modèles d'intelligence artificielle. D'après les sources fournies, plusieurs éléments indiquent que la durée de l'historique des données est adéquate :

- Indique qu'un historique d'au moins 1 an est généralement requis pour prendre en compte correctement les effets de saisonnalité et autres fluctuations dans les modèles de prévision.[29]
  - Étant donné que les sources [30] et[31] font référence à des historiques d'au moins un an, et que nous avons indiqué disposer d'une base de données de 1 an, cela semble constituer une durée suffisante pour mettre en place des solutions d'IA performantes de prévision de la demande et de gestion des stocks chez Naftal.
- Qualité des données

- La précision des données est-elle suffisante ?

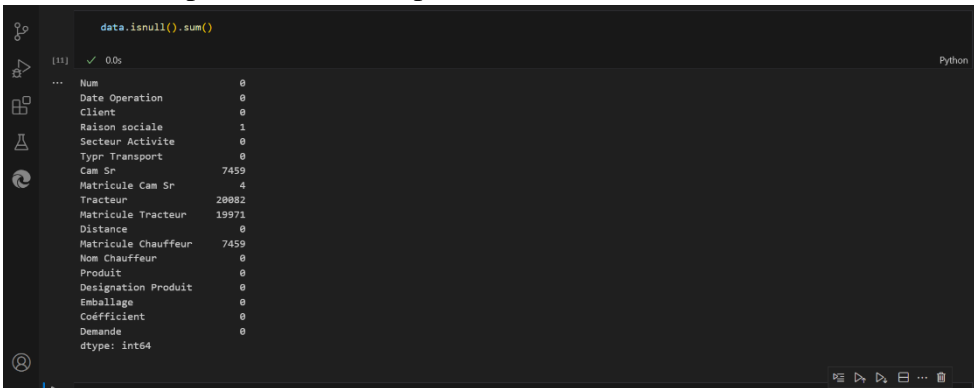
Les données sont précises dans la mesure où chaque champ est rempli avec des informations spécifiques, telles que les numéros d'opération, les dates, les clients, les produits, les quantités, etc.

**2. Prétraitement des Données :** Nettoyez et prétraitez les données, y compris la gestion des valeurs manquantes, la mise à l'échelle et la normalisation. Cette étape est cruciale pour garantir la qualité des données et les performances du modèle.[2]

### Comment préparer les données pour la prévision ?

- A-t-on identifié les sources d'erreurs pour pouvoir les corriger ?

D'après les informations fournies, la principale source d'erreurs identifiée dans les données de Naftal semble être la présence de champs vides, sans aucune valeur aberrante détectée.



```
data.isnull().sum()
[11] ✓ 0.0s
... Num 0
Date Operation 0
Client 0
Raison sociale 1
Secteur Activite 0
Type Transport 0
Cam Sr 7459
Matricule Cam Sr 4
Tracteur 20882
Matricule Tracteur 19971
Distance 0
Matricule Chauffeur 7459
Nom Chauffeur 0
Produit 0
Designation Produit 0
Emballage 0
Coefficient 0
Demande 0
dtype: int64
```

Figure 12 données manquantes existe-il dans la base de données

- Gestion des valeurs manquantes :

Nous avons effectué une gestion efficace des valeurs manquantes dans notre jeu de données. Pour les valeurs manquantes de type chaîne de caractères, nous les avons remplacées par la valeur "non spécifique" afin de conserver l'intégrité et la lisibilité de nos données. De plus, pour les valeurs manquantes de type entier, nous avons choisi de les remplacer par la valeur 0, 1 et -1 offrant ainsi une cohérence et une continuité dans notre ensemble de données. Cette approche nous permet d'avoir un jeu de données complet et traité, prêt à être utilisé pour nos analyses et nos modèles.

D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Raison sociale	Secteur	Activite	Typr Transport	Cam Sr	Matricule Cam	Tracteur	Distance	Matricule Ch	Nom Chauffeur	Produit	Designation	Emballage	Coefficient	Demande
1	CHERGUAIA A	15	4	Non spécifié	111111111111	Non spécifié	0	70	1 ABASSA	11010	GAZ BUTANE	302	13	
2	BELKALAI KH	15	4	Non spécifié	111111111111	Non spécifié	0	75	1 TOUATI	11010	GAZ BUTANE	302	13	
4	BELKALAI KH	15	4	Non spécifié	111111111111	Non spécifié	0	75	1 KADDOUR	11010	GAZ BUTANE	302	13	
5	BOUGUessa	15	4	Non spécifié	111111111111	Non spécifié	0	20	1 OMAR	11010	GAZ BUTANE	302	13	
6	CHEHIDA AB	15	4	Non spécifié	111111111111	Non spécifié	0	0	1 LAADIAL	11010	GAZ BUTANE	302	13	
7	BELAYACHI S	15	4	Non spécifié	111111111111	Non spécifié	0	0	1 KADDOUR	11010	GAZ BUTANE	302	13	
8	S/S GO R273:	25	1	C2399	120020731	Non spécifié	0	22	0 MORTET	11010	GAZ BUTANE	302	13	
9	SNC FRERES I	20	1	C2399	120020731	Non spécifié	0	10	0 MORTET	11010	GAZ BUTANE	302	13	
10	SNC FRERES I	20	1	C2399	120020731	Non spécifié	0	10	0 MORTET	11010	GAZ BUTANE	305	3	
11	KRADIA SALII	15	4	Non spécifié	111111111111	Non spécifié	0	60	1 ABDELKADEF	11010	GAZ BUTANE	302	13	
12	BELKALAI KH	15	4	Non spécifié	111111111111	Non spécifié	0	75	1 TOUATI	11010	GAZ BUTANE	302	13	
13	KRADIA SALII	15	4	Non spécifié	111111111111	Non spécifié	0	60	1 DJABBOUR	11010	GAZ BUTANE	302	13	
14	S/S GO R272:	25	1	C2399	111820731	Non spécifié	0	24	0 ZENTICI	11010	GAZ BUTANE	302	13	
15	S/S GO R272:	25	1	C2399	120020731	Non spécifié	0	7	0 MORTET	11010	GAZ BUTANE	302	13	
16	SARL STATIO	22	1	C2399	120020731	Non spécifié	0	19	0 MORTET	11010	GAZ BUTANE	302	13	
17	S/S GO R273:	25	1	C2399	120020731	Non spécifié	0	0	1 VD	11010	GAZ BUTANE 31G		6	
18	CLIENT DIVEI	50	4	Non spécifié	111111111111	Non spécifié	0	0	1 OMAR	11010	GAZ BUTANE	302	13	
19	BOUGUessa	15	4	Non spécifié	111111111111	Non spécifié	0	20	1 OMAR	11010	GAZ BUTANE	305	3	
20	BOUGUessa	15	4	Non spécifié	111111111111	Non spécifié	0	20	1 OMAR	11010	GAZ BUTANE	305	3	
21	BELAYACHI S	15	4	Non spécifié	111111111111	Non spécifié	0	0	1 KADDOUR	11010	GAZ BUTANE	302	13	
22	KRADIA SALII	15	4	Non spécifié	111111111111	Non spécifié	0	60	1 ABDELKADEF	11010	GAZ BUTANE	302	13	

Figure 13 Gestion de valeurs manquantes

```

data.isnull().sum()
Out[0]:
Num                0
Date Operation     0
Client             0
Raison sociale     1
Secteur Activite  0
Typr Transport     0
Cam Sr            0
Matricule Cam Sr  0
Tracteur          0
Matricule Tracteur 0
Distance          0
Matricule Chauffeur 0
Nom Chauffeur     0
Produit           0
Designation Produit 0
Emballage         0
Coefficient        0
Demande           0
dtype: int64

```

Figure 14 Présence Absence de Valeurs Manquantes dans la Base de Données

- Normalisation :

Bien que les résultats de recherche ne contiennent pas d'informations spécifiques sur la normalisation des données chez Naftal, il est fort probable que cette étape soit nécessaire avant d'appliquer des modèles LSTM (Long Short-Term Memory) pour prédire la demande. En effet, les LSTM sont sensibles à l'échelle des données d'entrée et nécessitent généralement une normalisation préalable pour fonctionner de manière optimale.

### 3. Séparation des données :

Pour évaluer l'efficacité de notre modèle de prédiction de la demande de Naftal, il est essentiel de diviser nos données en deux parties distinctes : un jeu d'entraînement et un jeu de test.

- **Jeu d'entraînement**

Le jeu d'entraînement sera utilisé pour former notre modèle de prédiction. Nous allons utiliser ces données pour entraîner notre modèle LSTM, en ajustant ses paramètres pour qu'il puisse apprendre à reconnaître les patterns dans les données et à prédire la demande future. Le jeu d'entraînement devrait représenter environ 70% de nos données, ce qui signifie que nous allons utiliser environ 70% des données de Naftal pour entraîner notre modèle.

**Jeu de test**

Le jeu de test sera utilisé pour évaluer les performances de notre modèle de prédiction. Nous allons utiliser ces données pour tester la précision de nos prédictions et mesurer l'erreur de prédiction. Le jeu de test devrait représenter environ 30% de nos données, ce qui signifie que nous allons utiliser environ 30% des données de Naftal pour évaluer les performances de notre modèle.

En utilisant un jeu d'entraînement et un jeu de test distincts, nous pouvons évaluer de manière plus précise la qualité de nos prédictions et ajuster notre modèle pour améliorer ses performances.

**4. Ingénierie des Caractéristiques :** Identifiez et créez des caractéristiques pertinentes qui capturent les motifs et les tendances des données. Cela peut inclure des caractéristiques de séries temporelles, telles que des valeurs retardées, des moyennes mobiles et des indicateurs de saisonnalité.[2]

- **Variables pertinentes et non-pertinents :**

Sur la base des colonnes contenant des valeurs null, il est notable que près de 7459 exemples, soit plus de 90% des données, ne possèdent pas ces caractéristiques. En conséquence, ces variables peuvent être considérées comme non pertinentes, car elles n'apportent pas d'informations utiles et pourraient perturber les prévisions. Il est donc recommandé de supprimer ces variables, car leur présence de valeurs manquantes excède généralement 20%, ce qui peut compromettre la qualité des analyses et des modèles prédictifs.

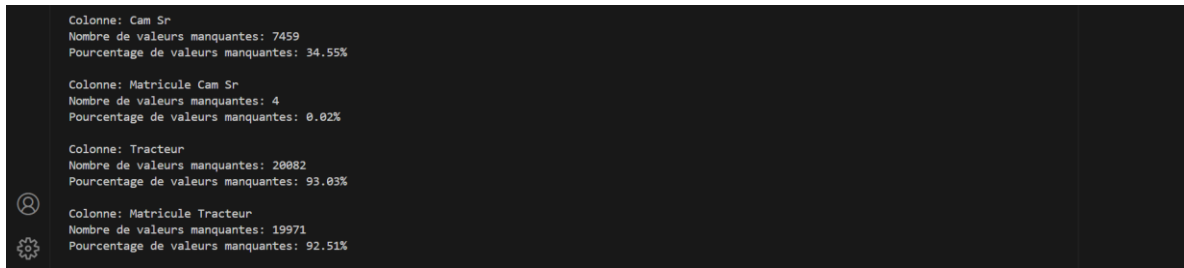


Figure 15 Pourcentage de valeurs manquantes

En analysant les pourcentages de valeurs manquantes (voir figure 4) dans les différentes variables, il est judicieux de considérer certaines de ces variables comme non pertinentes pour notre analyse. Par exemple, les variables telles que "Cam SR", "Matricule Cam SR Tracteur", et "Matricule Chauffeur" présentent des pourcentages élevés de valeurs manquantes, dépassant largement les seuils acceptables. Dans ce contexte, ces variables deviennent moins utiles pour notre analyse, car leur manque de données significatif peut compromettre la fiabilité et la précision des résultats. Ainsi, il est recommandé de prendre en compte ces pourcentages de valeurs manquantes dans la sélection des variables pertinentes pour notre étude, en favorisant celles qui ont des niveaux de valeurs manquantes plus faibles et qui peuvent donc contribuer de manière plus fiable à nos analyses et prévisions.

## 5. Analyse Exploratoire des Données (EDA)

- Visualisation des données : Utilisez des graphiques pour comprendre les tendances, les saisons et les variations.

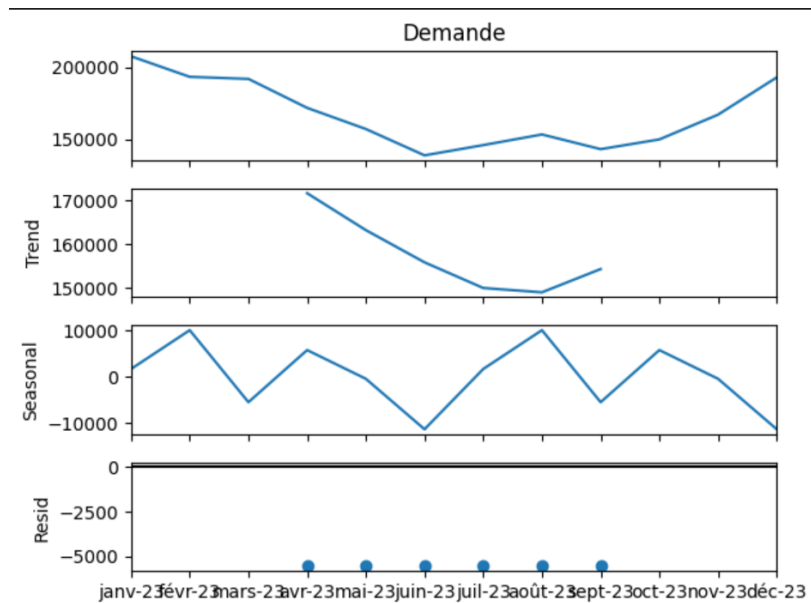


Figure 16 Décomposition Saisonnière de la Demande

Pour décomposer une série temporelle en ses composants constitutifs : tendance, saisonnalité et résidus (ou bruit). On a utilisé La fonction `seasonal_decompose` de la bibliothèque `statsmodels`. Cette décomposition est très utile pour analyser les séries temporelles et comprendre les différentes composantes qui influencent les données.

- *Explication des Composantes :*
  - **Tendance (Trend) :** Composante à long terme qui montre la direction générale dans laquelle la série évolue (hausse, baisse, stable).
  - **Saisonnalité (Seasonal) :** Composante périodique qui se répète à des intervalles réguliers
  - Résidus (Residual) :** Composante aléatoire ou bruit qui représente les variations irrégulières qui ne peuvent pas être expliquées par la tendance ou la saisonnalité.

### II.2.4.3 Entraînement du Modèle :

- Utilisons le jeu d'entraînement pour former notre modèle.

- Ajustons les paramètres de l'algorithme pour obtenir les meilleures performances possibles.[2] Pour obtenir les meilleures performances possibles de votre modèle LSTM, il est important d'ajuster plusieurs hyperparamètres.

### 1. Nombre d'unités LSTM :

Pour des jeux de données volumineux comme celui de Naftal, caractérisés par des variations significatives mois par mois, un modèle LSTM avec un nombre plus élevé de neurones peut être nécessaire pour capturer toutes les nuances et les variations complexes. Les motifs complexes, les tendances et les saisonnalités présents dans les données, tels que les variations mensuelles de la demande, peuvent être mieux appréhendés avec un modèle plus complexe. Ainsi, un nombre plus élevé de neurones permet d'augmenter la capacité de modélisation du réseau, ce qui est crucial pour capturer les relations subtiles et les variations mensuelles de la demande avec précision. C'est pourquoi nous avons choisi d'utiliser 100 neurones dans notre modèle LSTM pour la prévision de la demande de Naftal, afin de tirer parti de cette capacité de modélisation accrue et de mieux saisir les variations complexes présentes dans ces données volumineuses.

```
model.add(LSTM(100, activation='relu'))
```

Figure 17 Le nombre d'unités (ou de neurones) dans la couche

### 2. Nombre de couches LSTM :

#### **Couche d'entrée (Input) :**

```
model.add(Input(shape=(n_input, n_features)))
```

Figure 18 Configuration de la forme d'entrée pour le modèle LSTM

Cette ligne définit la forme des données d'entrée. `n_input` représente la longueur de la séquence d'entrée par pas de temps et `n_features` représente le nombre de caractéristiques (features) par pas de temps.

**Couche LSTM (LSTM) :**

```
model.add(LSTM(100, activation='relu'))
```

Figure 19 Ajout d'une couche LSTM

Cette ligne ajoute une couche LSTM avec 100 unités (ou neurones). Cette couche LSTM est capable de capturer les relations temporelles dans nos données séquentielles.

**Couche Dense (Dense) :**

Cette ligne ajoute une couche Dense avec une unité de sortie. Cette couche est utilisée pour produire la sortie finale de notre modèle.

```
model.compile(optimizer='adam', loss='mse')
```

Figure 20 Ajout d'une couche Dense

3. Fonction d'activation :

La fonction d'activation tanh est choisie dans les couches LSTM pour introduire de la non-linéarité et permettre au modèle d'apprendre des relations complexes entre les données d'entrée et de sortie. Cela inclut la capacité à gérer les variations saisonnières et les motifs temporels spécifiques aux données de NAFTAL.

4. Optimiseur

L'optimiseur Adam est un algorithme d'optimisation utilisé pour entraîner des modèles de réseaux de neurones. Son rôle dans la prédiction des ventes pour NAFTAL est de réguler dynamiquement le taux d'apprentissage lors de l'entraînement du modèle.

5. Taille du batch

La taille du batch est un hyperparamètre important dans l'entraînement des modèles de réseaux de neurones. Elle détermine le nombre d'échantillons qui seront propagés à travers le réseau avant que les poids ne soient mis à jour.

Dans notre modèle, nous avons défini la taille du batch à 1 lors de la création du générateur de séries temporelles

## 6. Nombre d'époques

Le nombre d'époques indique combien de fois l'ensemble de données d'entraînement est passé à travers le modèle.

Dans notre modèle, nous avons défini le nombre d'époques à 65

La raison pour laquelle le nombre d'époques a été choisi à 65 est pour éviter les problèmes d'overfitting et d'underfitting, ainsi que pour gérer la consommation de ressources système. Cependant, on a vérifié les performances du modèle en utilisant la métrique MAPE et quand on a trouvé MAPE : 3%, on a ajusté le nombre d'époques en conséquence.

**IV.2.4.4 Évaluation du Modèle :** Évalue les performances du modèle sur un ensemble de données de test séparé, en utilisant des métriques appropriées (l'Erreur Quadratique Moyenne (MAPE)).[2]

### Une Analyse plus détaillée de notre approche Algorithme A\*:

#### 1. Fonction heuristique(h(n)) :

Nous avons défini la fonction heuristique en utilisant le temps de trajet comme base cela a du sens, car minimiser le temps de trajet est crucial pour une planification de livraison efficace.

Fonction de cout (g(n)) :

En combinant la distance et la quantité (demande d client)

#### 2. Fonction de cout Total ((n)) :

J'ai défini la fonction de cout total comme la somme de la distance, de la quantité et du temps de trajet.

$$F(n)=G(n) + H(n)$$

Lorsque la fonction  $f(n)$  est plus élevée, cela signifie que la livraison est plus critique en raison de la demande élevée et/ou de la distance plus grande. De plus, la sélection de l'axe de livraison est également un facteur important, car il détermine les conditions de livraison et les risques associés. Pour éviter les problèmes de livraison, il est recommandé de choisir le  $f(n)$  le plus élevé avant de sélectionner un autre  $f(n)$  plus élevé. Ensuite, il est important de vérifier s'il y a d'autres nœuds de cette  $f(n)$  dans le même axe pour livrer.

Par conséquent, j'ai priorisé ces livraisons en premier.

### 3. Priorisation de clients :

En triant les clients en fonction de valeur de  $F(n)$  (du plus élevé au plus bas). J'assure une planification optimal les clients avec les valeurs de  $F(n)$  plus élevées sont livrés en premier.

- ***Cette approche permet d'optimiser à la fois le cout total est la satisfaction de client***

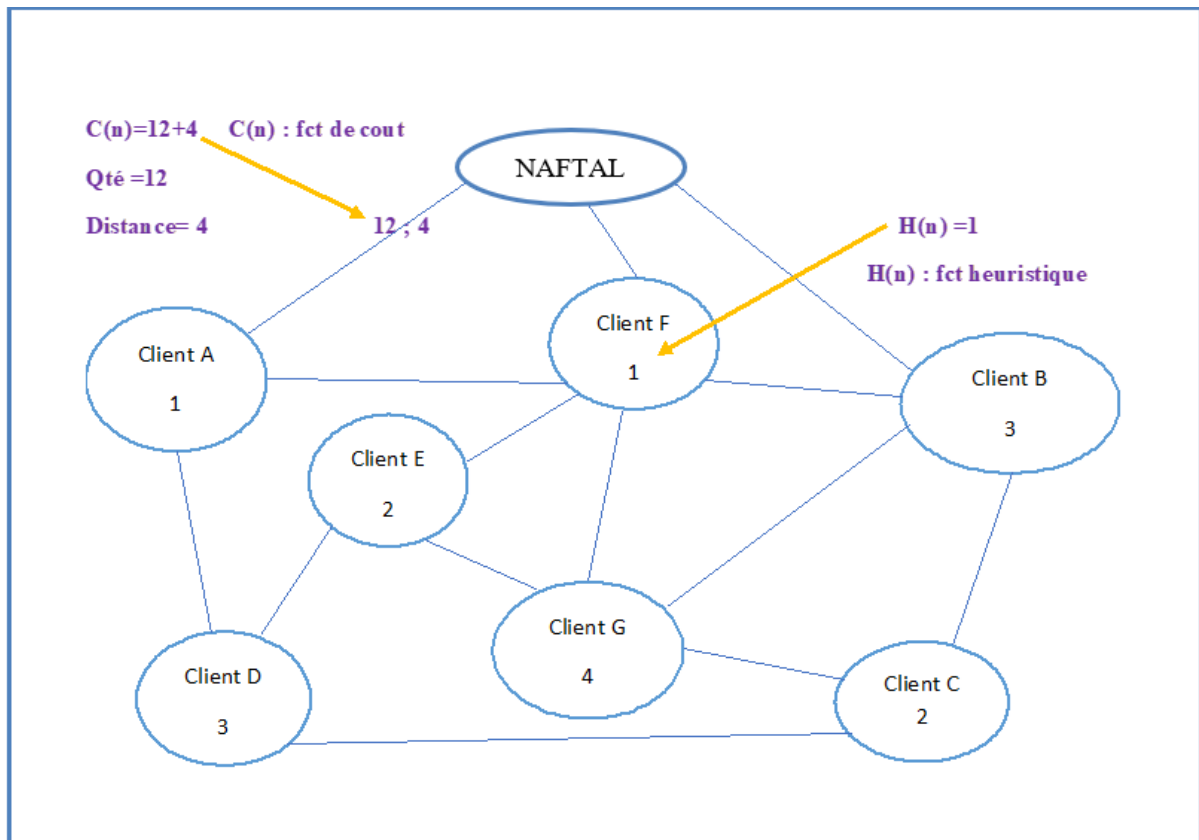


Figure 21 : Exemple A\* avec une recherche dans une ville

#### IV.2.5 Conception et modélisation :

UML est un langage visuel constitué d'un ensemble de schémas, appelés diagrammes, qui donnent chacun une vision différente de notre projet. Pour représenter ces différents diagrammes, nous avons utilisé l'outil en ligne draw.io qui permet de créer des diagrammes UML de manière collaborative

#### IV.2.6 Analyse des Performance de modèle LSTM :

Pour valider les résultats d'un modèle LSTM dans le cadre de séries temporelles, une métrique couramment utilisée est l'erreur absolue relative moyenne (Mean Absolute Percentage Error - MAPE). Dans notre code, la métrique MAPE a été utilisé pour évaluer les performances du modèle, ce qui est une bonne pratique pour mesurer la précision des prévisions.

## Calcul de la MAPE

En utilisant le code que nous avons fourni, nous obtenons un MAPE de 3.053968953993079. Cela signifie que, en moyenne, les prédictions du modèle s'écartent de la demande réelle d'environ 3.05%.



```
MAPE: 3.053968953993079
```

Figure 21 calcul le MAPE

## Interprétation

Le MAPE de 3.05% indique que les prédictions du modèle sont en moyenne très proches des valeurs réelles de la demande. Cela confirme que, le modèle LSTM fonctionne bien dans l'ensemble.

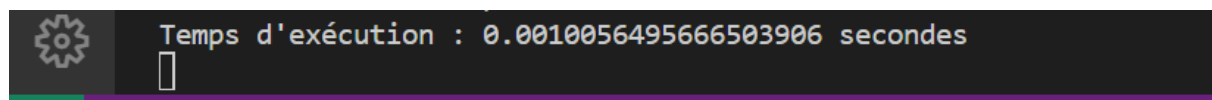
### IV.2.7 Analyse des Performance d'algorithme A\* :

Pour valider les résultats d'optimisation d'itinéraires obtenus par l'algorithme A\*, nous pouvons suivre une série d'étapes méthodiques :

#### 1. Temps de Calcul et Complexité :

Nous mesurons le temps d'exécution de l'algorithme pour diverses instances de problème. Nous comparons ce temps aux attentes théoriques pour détecter d'éventuelles inefficacités.

Nous pouvons utiliser des outils comme time en Python pour mesurer le temps d'exécution



```
Temps d'exécution : 0.0010056495666503906 secondes
```

Figure 22 Tracer le temps d'exécution

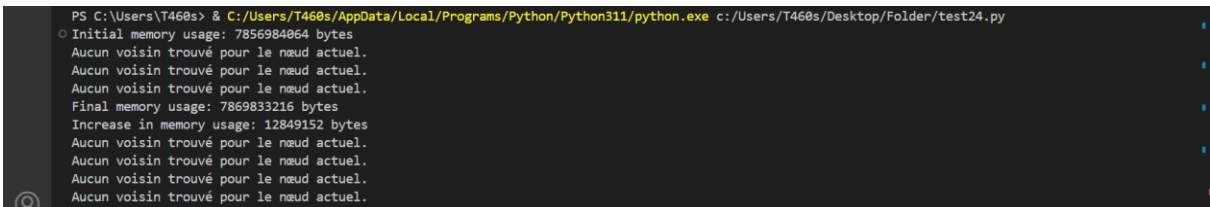
## 1.1 Interprétation du Temps d'Exécution :

Performance Exceptionnelle :

Un temps d'exécution de moins de 2 millisecondes (0.0018775463104248047 secondes) est extrêmement rapide. Cela indique que l'algorithme A\* est capable de trouver des solutions de manière très efficace pour les données fournies.

## 2 Utilisation de la Mémoire :

Nous Vérifions l'utilisation de la mémoire pour détecter des comportements anormaux qui pourraient suggérer des erreurs dans la gestion des nœuds.



```
PS C:\Users\T460s> & C:/Users/T460s/AppData/Local/Programs/Python/Python311/python.exe c:/Users/T460s/Desktop/Folder/test24.py
Initial memory usage: 7856984064 bytes
Aucun voisin trouvé pour le nœud actuel.
Aucun voisin trouvé pour le nœud actuel.
Aucun voisin trouvé pour le nœud actuel.
Final memory usage: 7869833216 bytes
Increase in memory usage: 12849152 bytes
Aucun voisin trouvé pour le nœud actuel.
Aucun voisin trouvé pour le nœud actuel.
Aucun voisin trouvé pour le nœud actuel.
Aucun voisin trouvé pour le nœud actuel.
```

Figure 23 Utilisation mémoire

### 2.1 Interprétation des Résultats de l'Utilisation de la Mémoire :

**Initial memory usage** : 7856984064 bytes (environ 7.86 Go)

**Increase in memory usage** : 12849152 bytes (environ 12.85 Mo)

### 2.2 Analyse des Résultats :

**Initial Memory Usage** :

L'utilisation initiale de la mémoire avant l'exécution de l'algorithme A\* est de 7.86 Go. Cela comprend l'utilisation de la mémoire par le système d'exploitation, d'autres processus en cours d'exécution et l'environnement de développement lui-même.

Increase in Memory Usage :

L'augmentation de la mémoire utilisée pendant l'exécution de l'algorithme A\* est de 12.85 Mo. Cela signifie que l'algorithme a consommé environ 12.85 Mo de mémoire supplémentaire pour traiter les nœuds, gérer les fermetures, et stocker les informations de la file d'attente de priorité.

### **2.3 Interprétation :**

**Utilisation de la Mémoire Raisonnable :** Une augmentation de 12.85 Mo est relativement faible et indique que l'algorithme A\* gère efficacement les nœuds en mémoire. Une augmentation aussi modérée est attendue et raisonnable pour un algorithme de ce type

**Pas de Comportements Anormaux Détectés :** Il n'y a pas d'augmentation disproportionnée ou inattendue de l'utilisation de la mémoire, ce qui suggère qu'il n'y a pas de fuites de mémoire ou de comportements anormaux dans la gestion des nœuds de l'algorithme. L'algorithme A\* semble bien gérer les ressources mémoire tout au long de son exécution.

### **En résumé :**

**Efficacité de l'Algorithme A :** \* Les résultats montrent que l'algorithme A\* est efficace en termes de gestion de la mémoire. L'augmentation modeste de l'utilisation de la mémoire indique que l'algorithme est bien optimisé pour ne pas consommer plus de mémoire que nécessaire.

**Validation de la Mémoire :** Nous pouvons conclure que l'algorithme A\* utilisé dans notre code ne présente pas de problèmes de mémoire et qu'il est adapté pour des graphes complexes sans risque de surcharge mémoire.

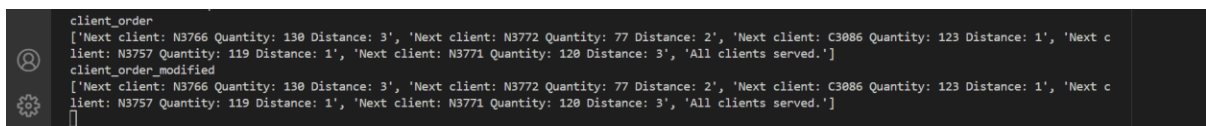
L'algorithme A\* non seulement excelle dans la recherche de chemins optimaux dans des graphes complexes, mais aussi qu'il gère la mémoire de manière efficace, évitant ainsi des comportements anormaux liés à la gestion des nœuds.

### 3. Sensibilité :

Nous Analysons la sensibilité des résultats aux modifications des poids des arêtes ou de la fonction heuristique pour évaluer la robustesse de l'algorithme.

Dans notre code, nous modifions les temps de trajet dans le dictionnaire `travel_times` en les multipliant par 1.1 (soit une augmentation de 10%). Cela simule une modification des poids des arêtes du graphe représentant les déplacements entre les clients.

Ensuite, nous recalculons l'ordre optimal de visite des clients (`client_order_modified`) avec les nouveaux temps de trajet modifiés en utilisant l'algorithme A\*.



```
client_order
[{"Next client: N3766 Quantity: 130 Distance: 3", "Next client: N3772 Quantity: 77 Distance: 2", "Next client: C3086 Quantity: 123 Distance: 1", "Next client: N3757 Quantity: 119 Distance: 1", "Next client: N3771 Quantity: 120 Distance: 3", "All clients served."}]
client_order_modified
[{"Next client: N3766 Quantity: 130 Distance: 3", "Next client: N3772 Quantity: 77 Distance: 2", "Next client: C3086 Quantity: 123 Distance: 1", "Next client: N3757 Quantity: 119 Distance: 1", "Next client: N3771 Quantity: 120 Distance: 3", "All clients served."}]
```

Figure 24 Évolution de l'Ordre de Livraison suite à la Modification des Poids

#### 3.1 Interprétation des résultats :

Les deux ordres de livraison optimaux sont affichés :

`client_order` : l'ordre initial calculé avec les temps de trajet originaux

`client_order_modified` : l'ordre recalculé avec les temps de trajet modifiés

Dans ce cas précis, les deux listes sont identiques, ce qui signifie que l'ordre optimal de visite n'a pas changé malgré une augmentation de 10% des temps de trajet. Cela suggère que l'algorithme A\* utilisé est relativement robuste aux variations des poids des arêtes (temps de trajet) dans cette situation.

Les clients sont triés selon les critères définis dans notre code (quantité, distance, axe). La sélection des voisins se fait en vérifiant que les voisins partagent le même axe et ne sont pas encore desservis.

Le tri des voisins semble également tenir compte des distances et des coûts, assurant que les clients plus proches et avec des coûts plus élevés soient servis en priorité.

Cette analyse des résultats montre que notre algorithme A\* génère des itinéraires optimaux qui restent stables malgré des variations des temps de trajet. Cela indique une bonne robustesse de l'algorithme dans ce contexte.

#### 4. Validation Empirique :

Évaluation des performances de l'algorithme A\* dans des conditions réelles à travers des comparaisons avec des itinéraires existants et des simulations pratiques.

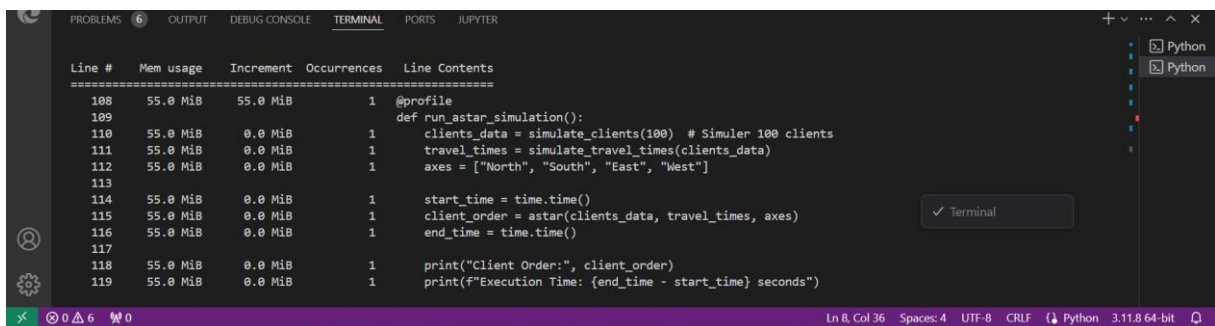


Figure 25 Profilage de la Mémoire lors de l'Exécution de l'Algorithme A\*

Le profil de mémoire montre que l'utilisation de la mémoire reste stable tout au long de l'exécution de la fonction run\_astar\_simulation. Voici une interprétation des résultats ligne par ligne :

##### 4.1 Interprétation des Résultats :

Ligne 110 : La mémoire utilisée reste à 55.0 MiB après la simulation de 100 clients.

Ligne 111 : La mémoire reste stable après la simulation des temps de trajet.

Ligne 112 : La mémoire reste stable après la définition des axes.

Ligne 114 : La mémoire reste stable au moment de la prise de l'horodatage de début.

Ligne 115 : L'appel à l'algorithme A\* ne change pas l'utilisation de la mémoire.

Ligne 116 : La mémoire reste stable au moment de la prise de l'horodatage de fin.

Ligne 118 : La mémoire reste stable lors de l'impression de l'ordre des clients.

Ligne 119 : La mémoire reste stable lors de l'impression du temps d'exécution.

### **En résumé :**

L'analyse montre que l'algorithme A\* tel qu'implémenté dans ce code ne présente pas de comportements anormaux en termes d'utilisation de la mémoire. L'utilisation de la mémoire reste constante tout au long de l'exécution, ce qui suggère que l'algorithme gère efficacement les ressources mémoire.

### **Évaluation de l'Utilisation de la Mémoire**

Pour confirmer que l'utilisation de la mémoire est efficace :

- Aucune augmentation significative de l'utilisation de la mémoire indique que l'algorithme est bien optimisé en termes de gestion de la mémoire.
- Absence de fuites mémoire ou d'allocation excessive de mémoire pendant l'exécution.

### **Validation Empirique**

Le fait que l'utilisation de la mémoire soit stable valide l'avantage de l'algorithme A\* en termes de l'utilisation de la mémoire. De par ces résultats, l'algorithme A\* gère les ressources mémoire de manière efficace dans des conditions réelles, ce qui est essentiel pour des applications de grande envergure comme la planification des livraisons.

## **IV.3 Lancement de l'application mobile :**

### **IV.3.1 Interface d'Authentification :**

Notre application propose une interface d'authentification robuste conçue pour accueillir trois types d'utilisateurs distincts : les clients, les livreurs et le chef de service de Naftal. Chaque

type d'utilisateur dispose de privilèges d'accès spécifiques et de fonctionnalités au sein de l'application, garantissant une expérience fluide et sécurisée.

#### **IV.3.1.1 Chef service :**

Le chef de service joue un rôle central dans le système de livraison de Naftal. Avant d'accéder à l'application, il doit créer un compte via le processus d'enregistrement fourni. Cette étape garantit que seules les personnes autorisées peuvent gérer les opérations globales.

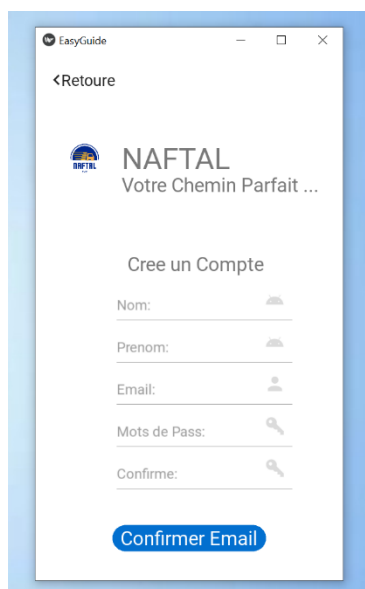
The image shows a mobile application window titled 'EasyGuide'. At the top left, there is a back arrow and the text '<Retour'. Below this is the Naftal logo, which consists of a stylized 'N' with a rainbow arc above it, followed by the text 'NAFTAL' and the tagline 'Votre Chemin Parfait ...'. The main heading is 'Cree un Compte'. Below this, there are five input fields: 'Nom:', 'Prenom:', 'Email:', 'Mots de Pass:', and 'Confirme:'. Each field has a corresponding icon to its right: a person icon for 'Nom', a person icon for 'Prenom', an envelope icon for 'Email', a key icon for 'Mots de Pass:', and a key icon for 'Confirme:'. At the bottom of the form is a blue button with the text 'Confirmer Email'.

Figure 26 Création de Compte

Lorsque nous remplissons le formulaire pour créer un compte et que nous appuyons sur "Confirmer", un code de confirmation sera envoyé à notre adresse Gmail pour finaliser le processus de création de compte.

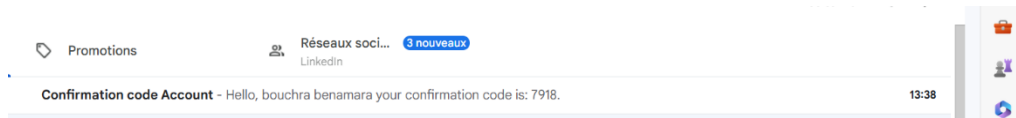


Figure 27 Code de Confirmation envoyé à l'adresse Gmail

Lorsque le code de confirmation est envoyé à notre adresse Gmail, nous devons le saisir dans le champ prévu à cet effet pour valider la création de notre compte



Figure 28 Saisie du Code de Confirmation pour Valider la Création de Compte

Lorsque le code de confirmation saisi est correct, nous accédons à une interface qui indique que notre adresse email a été validée avec succès, confirmant ainsi la création de notre compte

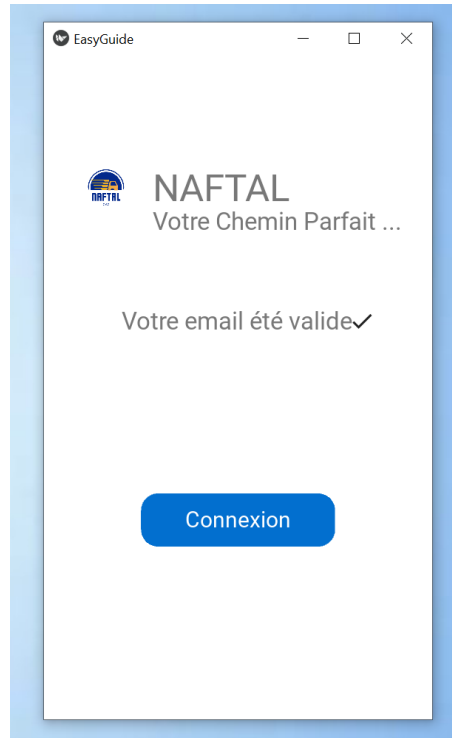


Figure 29 Interface de Confirmation - Adresse Email Validée

Après la création du compte, nous serons redirigés vers la page de connexion où nous devons saisir notre adresse email et notre mot de passe pour accéder à notre compte.

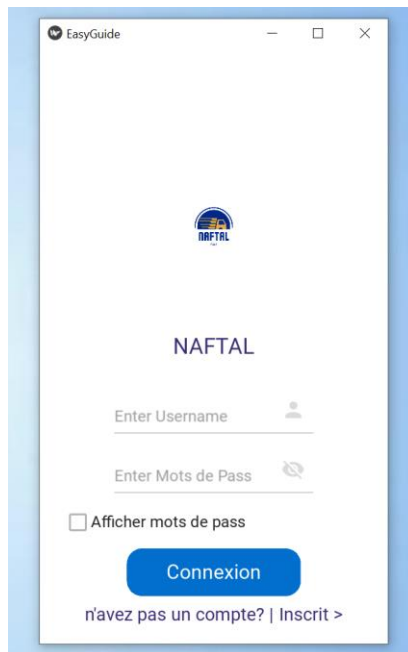


Figure 30 Page de Connexion - Saisie de l'Email et du Mot de Passe

Une fois le compte créé, le chef de service peut se connecter avec ses identifiants et accéder à l'interface d'accueil.

Depuis cette interface, il peut :

- Accéder à la page d'accueil

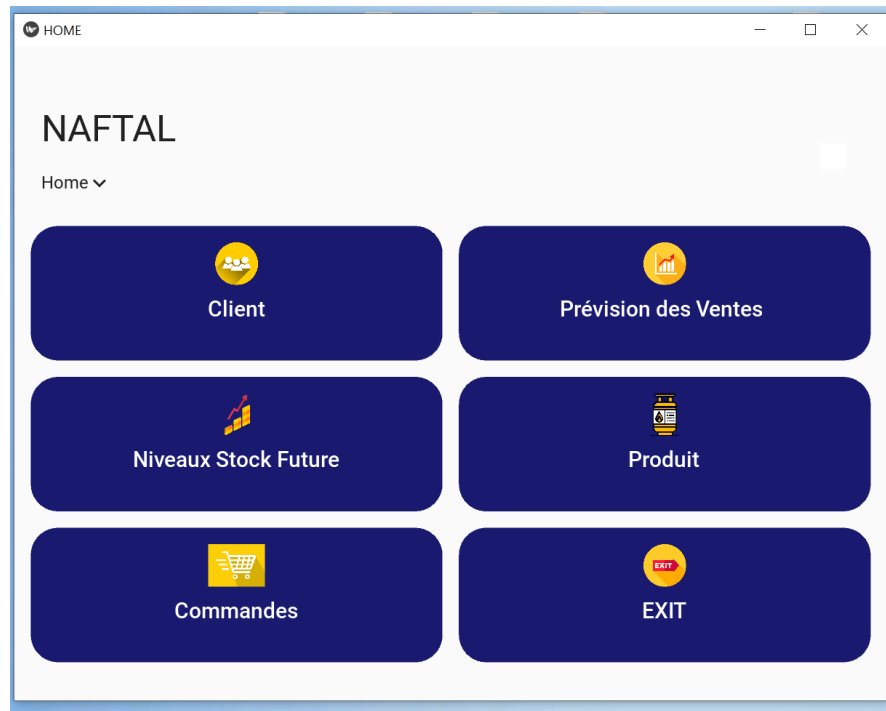


Figure 31 Page d'accueil

Gérer les comptes utilisateurs des livreurs et des clients.

Pour gérer les comptes utilisateurs des livreurs et des clients, appuyez sur la case "Client" pour afficher l'interface permettant d'ajouter et de supprimer un client ou un livreur et de leur attribuer un code et un mot de passe afin qu'ils puissent accéder à l'application.

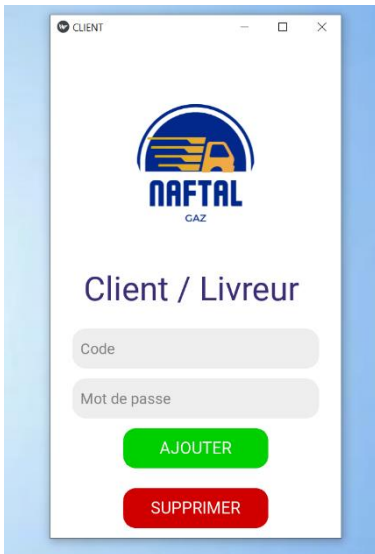


Figure 32 Gestion des Utilisateurs

- Prévision des Ventes et des Niveaux de Stock Futurs :

Le chef de service peut accéder à des prévisions détaillées des ventes et des niveaux de stock futurs, obtenues grâce à l'application du modèle LSTM sur les données de Naftal, ce qui lui permet d'anticiper les besoins en approvisionnement et d'optimiser la gestion des stocks. La courbe de figure 36 présente une visualisation détaillée de ces prévisions de ventes futures, tandis que la courbe de figure 37 montre les projections des niveaux de stock futurs. Ces visualisations obtenues par l'application du modèle LSTM permettent une optimisation efficace de la gestion des stocks de Naftal.

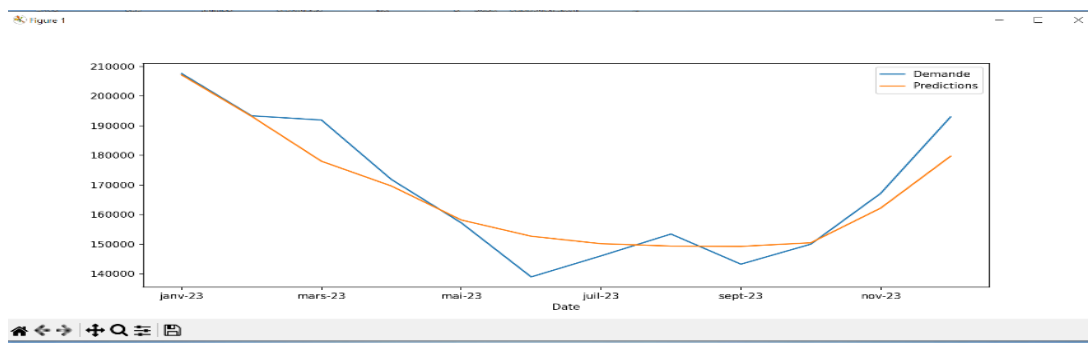


Figure 33 Les Ventes prévu vs réels

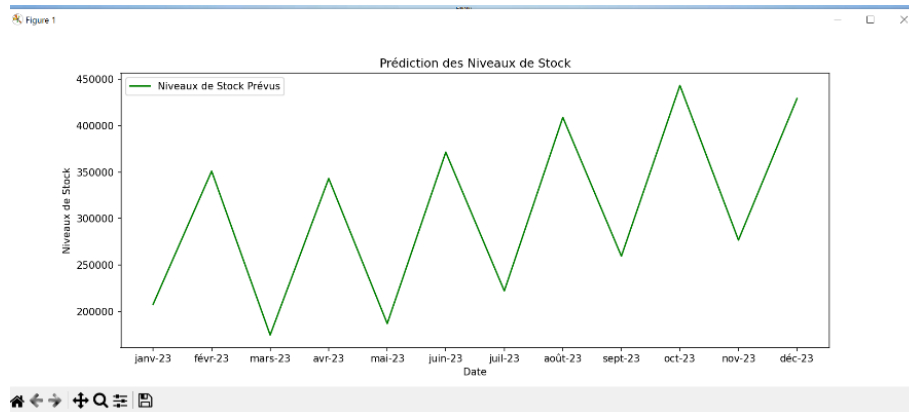


Figure 34 Prédiction des Niveaux de Stock Futurs

- **GESTION DES COMMANDES :**

Une section dédiée aux commandes permet au chef de service de gérer efficacement le flux des commandes. Il peut consulter la liste des commandes passées, avec des informations détaillées sur chaque commande telles que la date, le client, les produits commandés, les quantités ...ect.

Une fonctionnalité importante est la possibilité d'enregistrer la liste des commandes dans différents formats, offrant ainsi une grande flexibilité. Le chef de service peut exporter la liste des commandes au format Excel (.xlsx), un format très répandu et facilement manipulable dans les tableurs. Il est également possible d'exporter au format CSV (.csv), un format de fichier texte simple mais très utilisé pour l'échange de données tabulaires. Enfin, l'export au format PDF (.PDF) permet de générer des rapports de commandes au format document, idéal pour l'archivage et la transmission.

Code	Wilaya	Address	Social Reason	Phone	Distance	Date	Quantity	Item Type	Temporary Rout	Axes
C3086	Mostaganem	Mazzaghane	DIRT PROT CIVILE	567895432	1	22/05/2024	123	Bouteille 6 Kilo	1	axe 1
N3766	Mostaganem	CASTORS MOSTA	BENZAZA KHELIL	567895432	3	22/05/2024	130	Bouteille 6 Kilo	1	axe 2
N3772	Mostaganem	AIN NOUISSY MC	BENZAZA MUSTA	567895432	2	22/05/2024	77	GPLC Propan Vra	1	axe 2
N3757	Mostaganem	AIN TEDLES MOS	ETS PUBLIQUE HC	567895432	1	22/05/2024	119	GPLC Propan Vra	2	axe 1
N3771	Mostaganem	O/HAMMOU KHI	CHERIFA HABIB	789096543	3	22/05/2024	120	Bouteille 3 Kilo	1	axe 1

Figure 47 Commandes des clients

- **Produit le Plus Utilisé :**

Graphique indiquant les produits les plus utilisés, aidant le chef de service à identifier les tendances et à ajuster les stratégies d'inventaire en conséquence.

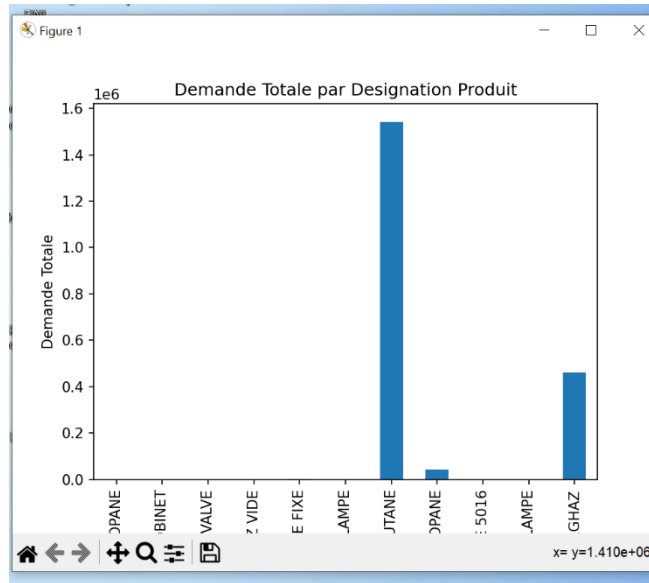


Figure 35 Graphique indiquant les produits les plus utilisés

#### IV.3.1.2 Clients

Les clients reçoivent également un code unique et un mot de passe fournis par le chef de service. Une fois connectés. Voir figure



Figure 36 Fenêtre authentification Client

Dans le cas d'erreur dans le code ou dans le mot de passe saisis, un message d'erreur s'affiche.

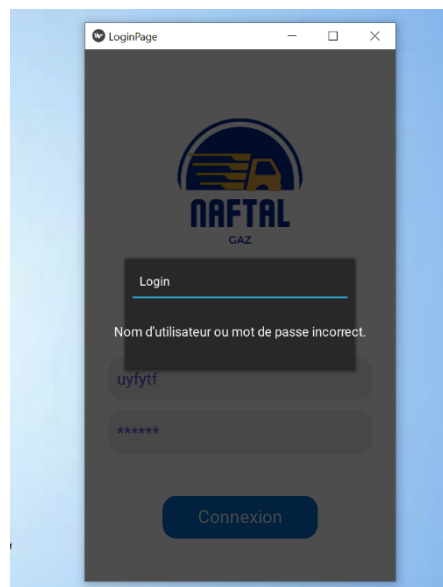


Figure 37 Fenêtre Erreur en authentification

Lorsque les identifiants du client, à savoir le mot de passe et le code, sont validés avec succès, un formulaire de commande client s'affiche, offrant une interface conviviale pour passer des commandes.

The screenshot shows a web application window titled "Formulaire de Commande". It contains a form with the following fields and controls:

- Code: [input] with a "Check" button next to it.
- Wilaya: [input]
- Adresse: [input]
- Raison sociale: [input]
- TEL: [input]
- Distance: [input]
- Date: [input] with a dropdown menu showing "5/22/24".
- Quantité: [input]
- Type d'article: [input] with a dropdown arrow.
- Temps de trajet: [input]
- Axes: [input] with a dropdown arrow.

Below the form are three buttons: "Insérer", "Modifier", and "Supprimer". At the bottom of the window, there is a table header with the following columns: Code, Wilaya, Adresse, Raison Sociale, Téléphone, Distance, Date, Quantité, Type d'Article, Temp Trajet, and Axes.

Figure 38 Formulaire de Commande

#### IV.3.1.3 Livreur :

- Les livreurs reçoivent leurs identifiants de connexion du chef de service.
- Ils saisissent leur code et mot de passe sur la page de connexion.
- Après une authentification réussie, ils sont redirigés vers l'interface Priorité de Livraison : " Interface des Commandes et Clients pour le Livreur "
- Ici, ils peuvent visualiser et gérer leurs tâches de livraison efficacement.
- Cet affichage implémente un algorithme de recherche A\* pour ordonnancer une liste de clients en fonction de leur distance et de leur coût. Il crée des nœuds pour chaque client, calcule leur coût et leur heuristique, puis trie les nœuds par coût décroissant. Ensuite, il parcourt les nœuds en commençant par le plus coûteux, ajoute le client actuel à l'ordonnancement, et explore ses voisins (clients du même axe) en les triant par distance. Les voisins sont ajoutés à l'ordonnancement et marqués comme visités pour éviter les doublons. Enfin, le code retourne l'ordonnancement complet des clients, indiquant pour chaque client son code, sa quantité et sa distance. Ce processus permet

d'optimiser l'ordre de visite des clients en minimisant la distance totale parcourue et en tenant compte des coûts associés à chaque client.

The screenshot shows a software window titled "INTERFACE LIVREUR". It contains a table of client orders and a section for delivery sequence optimization.

Code	Wilaya	Adresse	Raison Sociale	Téléphone	Distance	Date	Quantité	Type d'Article	Temp Trajet	axes
C3086	Mostaganem	Mazzaghiane	DIRT PROT CIVILE	567895432	1	22/05/2024	123	Bouteille 6 Kilo	1	axe 1
N3766	Mostaganem	CASTORS MOSTA	BENZAZA KHELIL	567895432	3	22/05/2024	130	Bouteille 6 Kilo	1	axe 2
N3772	Mostaganem	AIN NOUISSY MC	BENZAZA MUSTA	567895432	2	22/05/2024	77	GPLC Propan Vra	1	axe 2
N3757	Mostaganem	AIN TEDLES MOS	ETS PUBLIQUE HC	567895432	1	22/05/2024	119	GPLC Propan Vra	2	axe 1
N3771	Mostaganem	O/HAMMOU KHI	CHERIFA HABIB	789096543	3	22/05/2024	120	Bouteille 3 Kilo	1	axe 1

**Ordonnement des clients**

Next client: N3766 Quantity: 130 Distance: 3  
 Next client: N3772 Quantity: 77 Distance: 2  
 Next client: C3086 Quantity: 123 Distance: 1  
 Next client: N3757 Quantity: 119 Distance: 1  
 Next client: N3771 Quantity: 120 Distance: 3  
 All clients served.

Next client: N3766 Quantity: 130 Distance: 3  
 Next client: N3772 Quantity: 77 Distance: 2  
 Next client: C3086 Quantity: 123 Distance: 1  
 Next client: N3757 Quantity: 119 Distance: 1  
 Next client: N3771 Quantity: 120 Distance: 3  
 All clients served.

**Supprimer Client**

Figure 39 Priorité de Livraison : " Interface des Commandes et Clients pour le Livreur

Lorsque le livreur appuie sur la ligne, les informations de localisation du client (wilaya, adresse, raison sociale) s'affichent. Voir la figure

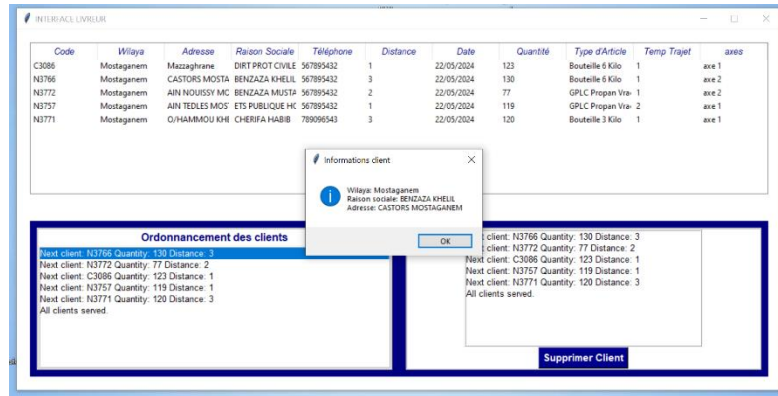


Figure 40 localisation du client (wilaya, adresse, raison sociale)

Lorsque le livreur livre une commande, la ligne du client sera automatiquement supprimée en appuyant sur le bouton 'Supprimer'

#### IV.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une application intelligente innovante visant à automatiser la planification des livraisons chez Naftal. Cette solution a été développée dans le but de résoudre les problèmes complexes d'optimisation des tournées de livraison, de prévision des ventes et de gestion des stocks.

## Conclusion Générale

Le projet de fin d'études que nous avons mené chez NAFTAL s'inscrit dans une démarche ambitieuse visant à transformer et à optimiser la planification des livraisons grâce à l'application de technologies d'intelligence artificielle. Tout au long de ce projet, nous avons identifié les principaux défis auxquels l'entreprise était confrontée en matière de gestion logistique, notamment la mauvaise organisation des livraisons, les prévisions de demande imprécises et les processus inefficaces.

En réponse à ces problématiques, nous avons développé une solution complète intégrant des algorithmes avancés tels que l'algorithme A\* pour l'optimisation des itinéraires de livraison et les réseaux de neurones récurrents de type LSTM pour la prévision de la demande. Ces technologies d'IA ont été soigneusement sélectionnées et implémentées afin de répondre aux besoins spécifiques de NAFTAL, permettant ainsi une meilleure anticipation des demandes futures et une gestion plus efficace des flux logistiques.

Les résultats obtenus ont été significatifs. Grâce à l'application des LSTM, nous avons considérablement amélioré la précision des prévisions de la demande, ce qui a permis une meilleure gestion des stocks et une réduction des ruptures de stock. L'algorithme A\*, quant à lui, a optimisé les itinéraires de livraison, réduisant ainsi les coûts de transport et les délais de livraison. L'automatisation des processus logistiques a également simplifié les tâches répétitives, augmentant la productivité et la satisfaction des clients.

Le développement et la mise en œuvre de cette solution ont été documentés de manière exhaustive, couvrant tous les aspects de la conception à la réalisation, en passant par la

modélisation UML et le développement de l'application. Chaque étape a été soigneusement planifiée et exécutée pour garantir l'efficacité et la robustesse de la solution.

En conclusion, ce projet démontre le potentiel transformateur de l'intelligence artificielle dans le domaine de la logistique. L'intégration des technologies d'IA chez NAFTAL a non seulement résolu des problèmes opérationnels critiques, mais a également ouvert de nouvelles perspectives pour l'optimisation de la supply chain. Les améliorations apportées en termes de prévision de la demande, d'optimisation des itinéraires et de gestion des stocks constituent des avancées majeures pour l'entreprise, posant les bases d'une logistique plus intelligente et plus agile.

Ce projet de fin d'études a ainsi permis de mettre en lumière l'importance de l'innovation technologique dans la gestion logistique moderne et offre un exemple concret de la manière dont l'intelligence artificielle peut être exploitée pour améliorer les performances opérationnelles et la satisfaction des clients dans le secteur industriel.

# Bibliographie

- [1] **Faste Capital** , Prévision de la demande Le rôle de la prévision de la demande dans l'optimisation de la gestion des stocks des startups, *Faste Capital*
- [2] **Mohamed Barkaoui**, Modele de prevision de la demande Comment les modèles de prévision de la demande stimulent la croissance des entreprises en démarrage, *Faste Capital*
- [3] **MetalBlog (ctif.com)**, Les réseaux de neurones récurrents pour les séries temporelles, *MetalBlog*
- [4] **Jaouad Dabounou**, Réseaux de neurones récurrents et LSTM, *SlideShare*
- [5] **Mohamed Barkaoui**, APPROCHE EVOLUTIONNAIRE POUR LA RESOLUTION DU PROBLEME DE TOURNEES DE VEHICULES AVEC FENETRES DE TEMPS, *Faste Capital*
- [6] **24pm Academy** , Long Short Term Memory : définitions, exemple, *24pm Academy*
- [7] **Babu Thomas**, Understanding LSTM: An In-depth Look at its Architecture, Functioning, and Pros & Cons, *LinkedIn*
- [8] Long Short-Term Memory (LSTM) — Dive into Deep Learning 1.0.3 documentation (d2l.ai)
- [9] **Mohamed Barkaoui(2023)**, Long Term vs Short Term Investment Return Forecasting Techniques , *Faste Capital*
- [10] **Sharpe, William F**, The Sharpe Ratio, *Journal of Portfolio Management*
- [11] **Kshitij Dixit**, Explorer des itinéraires efficaces : votre guide pour l'optimisation basée sur l'IA, *Zeo Route Planner*
- [12] **FasterCapital**, Optimisation Des Stocks Et Prévision De La Demande, *Faste Capital*
- [13] **Djamel Eddine Ghouraf(2018)**, Optimisation de la commande vectorielle par algorithme génétique,
- [14] **Damien Soulé**, Machine Learning : L'algorithme A\* ou Astar, *LinkedIn*
- [15] **khayyam**, Recherche de chemin par l'algorithme A\*, *Developpez.com*

- [16] **Nicolas Barnier**, Optimisation par algorithme génétique sous contraintes, *HAL-ENAC*
- [17] **MEKHMOUKH Abdenour**, Genetic Algorithm, *MATLAB Central File Exchange*
- [18] Etude des Algorithmes génétiques et application aux données de protéomique (hal.science)
- [19] <https://toiledefond.net/algorithme-genetique-darwin-intelligence-artificielle>
- [20] **Pierre Schwartz**, Tutoriel Algorithmes génétiques, *Developpez.com*
- [21] IA: Les algorithmes génétiques (mascret.fr)
- [22] Gestion des opérations , Résumé Intra - SÉANCE 2 - LA PRÉVISION DE LA DEMANDE 2 La notion de - Studocu
- [23] Qu'est-ce que la gestion des stocks et comment fonctionne-t-elle ? | IBM
- [24] Comment l'intelligence artificielle révolutionne les services de logistique et de livraison | Fulfillment Hub USA
- [25] Prevision de la demande Le role de la prevision de la demande dans l optimisation de la gestion des stocks des startups - FasterCapital
- [26] Les réseaux de neurones récurrents pour les séries temporelles - MetalBlog (ctif.com)
- [27] 14762-series-temporelles-et-reseaux-de-neurones-recurrents-ensps.pdf (education.fr)
- [28] Aller plus loin en deep learning avec les réseaux de neurones récurrents (RNNs) - Devoteam France
- [29] Quel historique de données pour une prévision des ventes... | Verteego
- [30] Exploiter Les Données Historiques Pour La Prévision De La Demande - FasterCapital
- [31] **Google Ads**, Prévisions de la demande sur la page "Insights" - Aide Google Ads, *Aide Google Ads*
- [32] **Roger Nkambou (nkambou.roger@uqam.ca)**, INF4230 – Intelligence artificielle, *GDAC - UQAM*
- [33] Microsoft PowerPoint - Recherche.ppt [Mode de compatibilité] (ulaval.ca)
- [34] L importance de la prevision des ventes dans le developpement commercial - FasterCapital
- [35] 5 méthodes pour une prévision des ventes efficace (appvizer.fr)
- [36] Prévoir et planifier vos ventes (infoentrepreneurs.org)

- [37] **Mohamed Cherif Bouras Amina Bedboudi (2018), Amélioration** de l'algorithme de chauve-souris par modification de règles d'évolution et introduction de mécanisme de croisement. *Rev. Sci. Technol Synthèse* 36
- [38] Custom development environments with Visual Studio Code
- [39] Langage Python : c'est quoi ? Que peut-on faire avec en 2023 ? (data-bird.co)
- [40] MySQL : MySQL Workbench
- [41] Définition Office Excel — Dictionnaire informatique — Xyoos (cours-informatique-gratuit.fr)
- [42] Que signifie Intelligence artificielle (IA)? - Définition IT de LeMagIT
- [43] **Mohamed Barkaoui**, Approche évolutionnaire pour la planification d'itinéraires dans un environnement dynamique, *Doctoral dissertation, Université Laval*
- [44] **Walid MAMMER**, Mémoire de magister : Interventions : Application de l'algorithme génétique pour la résolution du problème considéré