



Ecole Polytechnique de l'Université de Tours

Département Informatique

64 avenue Jean Portalis

37200 Tours, France

Tél. +33 (0)2 47 36 14 14

polytech.univ-tours.fr

Projet Recherche & Développement 2021-2022

Logistique des circuits courts avec des hubs intermédiaires



POLYTECH[®]
TOURS

Tuteurs académiques

Jean-Charles BILLAUT

Pierre DESPORT

Étudiant

Corentin JOLLET (DI5)

7 avril 2022



Liste des intervenants

Nom	Email	Qualité
Corentin JOLLET	corentin.jollet@univ-tours.fr	Étudiant DI5
Jean-Charles BILLAUT	jean-charles.billaut@univ-tours.fr	Tuteur académique, Département Informatique
Pierre DESPORT	pierre.desport@univ-tours.fr	Tuteur académique, Département Mathématiques



Avertissement

Ce document a été rédigé par Corentin JOLLET susnommé l'auteur.

L'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours est représentée par Jean-Charles BILLAUT et Pierre DESPORT susnommés les tuteurs académiques.

Par l'utilisation de ce modèle de document, l'ensemble des intervenants du projet acceptent les conditions définies ci-après.

L'auteur reconnaît assumer l'entière responsabilité du contenu du document ainsi que toutes suites judiciaires qui pourraient en découler du fait du non respect des lois ou des droits d'auteur.

L'auteur atteste que les propos du document sont sincères et assume l'entière responsabilité de la véracité des propos.

L'auteur atteste ne pas s'approprier le travail d'autrui et que le document ne contient aucun plagiat.

L'auteur atteste que le document ne contient aucun propos diffamatoire ou condamnable devant la loi.

L'auteur reconnaît qu'il ne peut diffuser ce document en partie ou en intégralité sous quelque forme que ce soit sans l'accord préalable des tuteurs académiques et de l'entreprise.

L'auteur autorise l'école polytechnique de l'université François Rabelais de Tours à diffuser tout ou partie de ce document, sous quelque forme que ce soit, y compris après transformation en citant la source. Cette diffusion devra se faire gracieusement et être accompagnée du présent avertissement.



Pour citer ce document

Corentin JOLLET, *Logistique des circuits courts avec des hubs intermédiaires*, Projet Recherche & Développement, Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, Tours, France, 2021-2022.

```
@mastersthesis{
  author={JOLLET, Corentin},
  title={Logistique des circuits courts avec des hubs intermédiaires},
  type={Projet Recherche \& Développement},
  school={Ecole Polytechnique de l'Université de Tours},
  address={Tours, France},
  year={2021-2022}
}
```

Table des matières

Liste des intervenants	a
Avertissement	b
Pour citer ce document	c
Table des matières	i
Table des figures	vi
Liste des tableaux	viii
1 Introduction	1
1 Acteurs, enjeux et contexte	1
2 Objectifs.....	1
3 Hypothèses	1
4 Bases méthodologiques.....	2
2 Description générale	3
1 Environnement du projet	3
2 Caractéristiques des utilisateurs.....	3
3 Fonctionnalités du système	3
3.1 LRP-2E.....	4
3.2 Rassemblement de toutes les heuristiques.....	4
4 Structure générale du système.....	4
3 État de l'art / Veille technologique	6
1 Heuristiques.....	6

1.1	Pickup and Delivery Problem	6
1.1.1	Données	6
1.1.2	Variables	7
1.1.3	Fonctions objectives.....	7
1.1.4	Contraintes.....	7
	Définition des contraintes	8
1.2	Vehicle Routing Problem with Time Windows	8
1.2.1	Données	9
1.2.2	Variables	9
1.2.3	Fonctions objectives.....	10
1.2.4	Contraintes.....	10
	Définition des contraintes	10
1.3	Location Routing Problem.....	11
1.3.1	Données	11
1.3.2	Variables	12
1.3.3	Fonctions objectives.....	12
1.3.4	Contraintes.....	12
	Définition des contraintes	12
1.4	Location Routing Problem 2 Echelons.....	13
1.4.1	Données	13
1.4.2	Variables	14
1.4.3	Fonctions objectives.....	15
1.4.4	Contraintes.....	15
	Définition des contraintes	16
2	Logiciel de Simulation.....	17
2.1	Ortec Supply Chain Design.....	17
2.2	PTV Route Optimiser	17
2.3	AnyLogistix.....	18
3	Conclusion.....	18
4	Analyse et conception	19
1	Analyse	19
1.1	Hypothèses utilisées.....	19
1.2	Spécifications.....	19
2	Modélisation proposée.....	19
2.1	Données.....	19
2.2	Supposition et informations importantes	20
2.3	Variables	20
2.4	Fonction objective.....	20
2.5	Contraintes.....	21
2.6	Définition des contraintes.....	21

5	Mise en oeuvre	22
1	Outils et librairie utilisés.....	22
2	Éléments d'implémentation, choix techniques	22
6	Bilan et conclusion	23
1	Bilan du semestre 9	23
2	Bilan du semestre 10.....	23
3	Bilan sur la qualité	24
4	Bilan auto-critique.....	24
	Annexes	25
A	Planification, gestion de projet	26
1	Evolution du projet	26
2	Description des tâches.....	28
	Tâche 1 : Présentation des Projet de Recherche et de Développement (PRD)	28
	Tâche 2 : Réunion présentation détaillée.....	28
	Tâche 3 : État de l'art.....	28
	Tâche 4 : Réunion Planification	29
	Tâche 5 : Description générale du PRD	29
	Tâche 6 : Cahier des spécifications.....	29
	Tâche 7 : Réunion point d'avancement	29
	Tâche 8 : Analyse et conception	29
	Tâche 9 : Réunion modélisation et état de l'art.....	29
	Tâche 10 : Réunion suivi de projet	29
	Tâche 11 : Analyse générale des heuristiques	29
	Tâche 12 : Réunion présentation soutenance	29
	Tâche 13 : Soutenance PRD1	30
	Tâche 14 : Réunion modèle à développer	30
	Tâche 15 : Création du modèle de base Location Routing Problem 2 Echelons (LRP-2E)	30
	Tâche 16 : Réunion spécifications	30
	Tâche 17 : Mise à jour des spécifications.....	30
	Tâche 18 : Utilisation de Logiciel de résolution de problèmes de programmation linéaire (GLPK) pour le modèle de base	30
	Tâche 19 : Réunion d'avancement.....	30
	Tâche 20 : Étude du logiciel Outil d'analyse, d'optimisation et de simulation de chaine d'approvisionnement (AnyLogistix)	30
	Tâche 21 : Réunion spécifications	31

Tâche 22 : Mise en oeuvre d'exemples sur AnyLogistix	31
Tâche 23 : Mise à jour du rapport du PRD	31
Tâche 24 : Utilisation d'AnyLogisitx avec mon modèle.....	31
Tâche 25 : Réunion qualité et mise en oeuvre.....	31
Tâche 26 : Réunion gestion de projet.....	31
Tâche 27 : Simulation et analyse	31
Tâche 28 : Soutenance PRD2	31
B Cahier de Spécifications	32
1 Spécifications Fonctionnelles	32
1.1 Objectif du modèle	32
1.2 Données du système.....	32
1.3 Contraintes du modèle.....	32
2 Spécifications non fonctionnelles	33
2.1 Contraintes de développement et conception	33
2.2 Contraintes de fonctionnement et d'exploitation.....	33
2.2.1 Performances.....	33
2.2.2 Capacités	33
2.2.3 Contrôlabilité	33
2.2.4 Sécurité	33
3 Maintenance et évolution du système	33
C Cahier du développeur	34
1 Introduction	34
2 Convention de développement	34
3 Diagrammes architecturaux et UML	34
4 Descriptions détaillées de données exploitées	35
D Document d'installation	36
1 GLPK	36
2 AnyLogistix	36
2.1 Version académique	36
2.2 Version professionnelle	37
E Document d'utilisation	41
1 Détails du logiciel	41
1.1 GFA	41
1.2 NO	41
1.3 TO	42
1.4 SIM.....	42

2	Tutoriels	43
2.1	Récupérer et utiliser un modèle existant	43
2.2	Création d'un nouveau scénario	47
F	Cahier de test	50
1	Paramètres fixes des tests	50
2	Résultats des tests	51
2.1	NO avec Hubs et seulement les transports.....	51
2.2	NO sans Hub et seulement les transports	53
2.3	NO avec Hubs, les transports et les revenus	54
2.4	NO sans Hub, les transports et les revenus.....	56
2.5	NO avec les 2 Hubs, les transports et les revenus	57
2.6	TO sans Hub.....	59
2.7	TO avec Hubs.....	61
3	Analyse des résultats	62
G	Bibliographie	63
H	Acronymes	64

Table des figures

2 Description générale

2.1 Exemple de schéma de LRP-2E.....	4
2.2 diagramme de cas d'utilisation de mon projet	5

3 État de l'art / Veille technologique

3.1 Exemple de VRPTW	9
3.2 Exemple de LRP	11
3.3 Exemple de LRP-2E	13

A Planification, gestion de projet

A.1 Le diagramme de Gantt Initial.....	26
A.2 Le diagramme de Gantt avant la soutenance du PRD1.....	27
A.3 Le diagramme de Gantt prévisionnel de la deuxième partie	27
A.4 La partie 1 du diagramme de Gantt Final.....	28
A.5 La partie 2 du diagramme de Gantt Final.....	28

C Cahier du développeur

C.1 Diagramme de composant du logiciel AnyLogistix	35
--	----

D Document d'installation

D.1 Formulaire académique d'inscription sur AnyLogistix	37
D.2 Les 3 opportunités d'utilisation.....	38
D.3 Formulaire professionnel d'inscription sur AnyLogistix	39

E Document d'utilisation

E.1 Écran de base d'AnyLogistix.....	43
E.2 Importation pour les fichiers Excel.....	43
E.3 Importation pour les fichiers base de données.....	44
E.4 Base du logiciel.....	44
E.5 Les 4 parties du logiciel	45
E.6 Les paramètres des parties	45
E.7 Résultat de la carte pour une partie.....	46
E.8 NO expérimentation de base	46
E.9 Exemple de résultat pour la partie NO	47
E.10 Bouton de création d'un nouveau scénario.....	47
E.11 Config de base d'un nouveau scénario	48
E.12 Informations supplémentaire sur les données d'un nouveau scénario	48

F Cahier de test

F.1 Carte présentation des tests	50
F.2 Résultat du test NO avec Hubs et seulement les transports	52
F.3 Flux de véhicule pour ce test	52
F.4 Demande et satisfaction des clients	53
F.5 Carte Sans les Hubs.....	53
F.6 Résultat sans Hub	54
F.7 Flux de véhicule sans Hub	54
F.8 Résultats des Hubs avec le revenu	55
F.9 Objectif Members avec les Hubs.....	55
F.10 Résultats du test avec le revenu	56
F.11 Résultats des Objectifs Members sans les Hubs	57
F.12 Configuration du flux de produit avec 2 Hubs	58
F.13 Résultats avec les 2 Hubs utilisés	58
F.14 Résultats du flux de véhicules avec les 2 Hubs.....	58
F.15 Configuration du "Sourcing" sans Hubs pour le TO	59
F.16 Premier résultat du TO sans Hubs.....	59
F.17 Deuxième résultat du TO sans Hubs	60
F.18 Résultats des chemins générés	60
F.19 Résultats détaillés des chemins générés	60
F.20 Carte du résultat du TO avec Hubs	61
F.21 Résultats des chemins générés pour le TO avec des Hubs	61



Liste des tableaux

1

Introduction

1 Acteurs, enjeux et contexte

L'écologie prend de plus en plus de place dans la société. C'est pourquoi, les circuits courts semblent être une bonne alternative pour minimiser l'émission à effet de serre, car chaque producteur doit approvisionner ses clients en effectuant des circuits, pas souvent très adaptés. Donc les petits producteurs consomment plus que les grandes surfaces parce qu'elles ne font que des trajets importants avec beaucoup de produits alors que les producteurs effectuent plein de petit trajets avec peu de produits.

Acteurs :

- Client : association "Circuit bio"
- MOA : Encadrants : Jean-Charles Billaut et Pierre Desport
- MOE : Corentin JOLLET

L'enjeu principal est de concevoir une première modélisation de constitution de Hubs avec une simulation, pour aider les producteurs à améliorer leur logistique.

2 Objectifs

L'objectif principal du projet est de proposer un modèle mathématique et une simulation sur les circuits courts avec des Hubs intermédiaires, dans le but de minimiser les coûts liés aux trajets.

Tout cela permettrait aux producteurs de consommer moins, et donc d'économiser de l'argent tout en polluant un minimum. Cela permettrait également de favoriser les circuits de proximité pour apporter aux clients des produits locaux.

3 Hypothèses

Pour répondre à cette problématique, je vais me baser sur les solutions de la résolution du **LRP-2E**, qui reprend mes objectifs, en ajoutant à cela certains détails en lien avec mon sujet, comme l'intégration de type de Hubs pour stocker des produits particulier. Pour cela, je vais étudier tout d'abord le positionnement des différents Hubs, pour définir les meilleurs emplacements. Ensuite,

je vais calculer grâce aux heuristiques, les tournées des producteurs pour aller jusqu'aux Hubs et enfin pour finir, les livraisons des Hubs aux clients.

4 Bases méthodologiques

Dans cette partie, je vais détaillé les outils utilisés pour améliorer le suivi :

- Trello
- Google Drive
- Gantt
- Overleaf

L'utilisation de Trello me permet de gérer plus efficacement les tâches que je devrais réaliser, mais également pour manager mon temps. Cet outil va également me servir à me rendre compte de la progression de mon projet.

Google Drive me permet de stocker mes fichiers, diagrammes ou les documents utilisées pour l'étude pour avoir un back-up. Il me permet également d'accéder facilement à mes données peut importe l'endroit où je suis.

En ce qui concerne le diagramme de Gantt, il me permet d'obtenir une représentation général de l'évolution de mon projet. Il sert à constater les variations entre ce qui été prévu et ce qui est arrivé. Et donc d'établir plus aisément des conclusions sur le déroulement de mon projet.

Overleaf est un site d'édition de document en format LaTeX qui permet d'avoir un bon rendu visuel des choses tout en codant. Il est également simple à utiliser et accessible juste avec un compte et une connexion internet.

Pour le développement de mon projet, nous avons décidé de suivre une méthode agile avec mes encadrants, dans le but de les tenir informés de l'évolution de mon projet, et donc de pouvoir adapter mes tâches à ses changements. Pour réaliser ces points, nous faisons des réunions toutes les 2 semaines lorsque cela est possible.

2

Description générale

Pour ce chapitre, nous allons voir l'environnement du projet, les caractéristiques des utilisateurs, les fonctionnalités du système et la structure générale du système.

1 Environnement du projet

Comme mon sujet est avant tout basé sur de la recherche, il n'y aura pas d'interface que l'utilisateur pourra utiliser. Par contre, l'environnement de travail ne portera que sur l'utilisation de **Logiciel d'optimisation commercialisé par IBM (CPLEX)** pour la résolution des problèmes grâce aux instances données et aux heuristiques proposées. Donc, l'utilisateur aura juste accès aux données que **CPLEX** fournira en sortie.

2 Caractéristiques des utilisateurs

Les utilisateurs finaux seront les membres d'une association de producteurs que nous considérerons débutant en informatique.

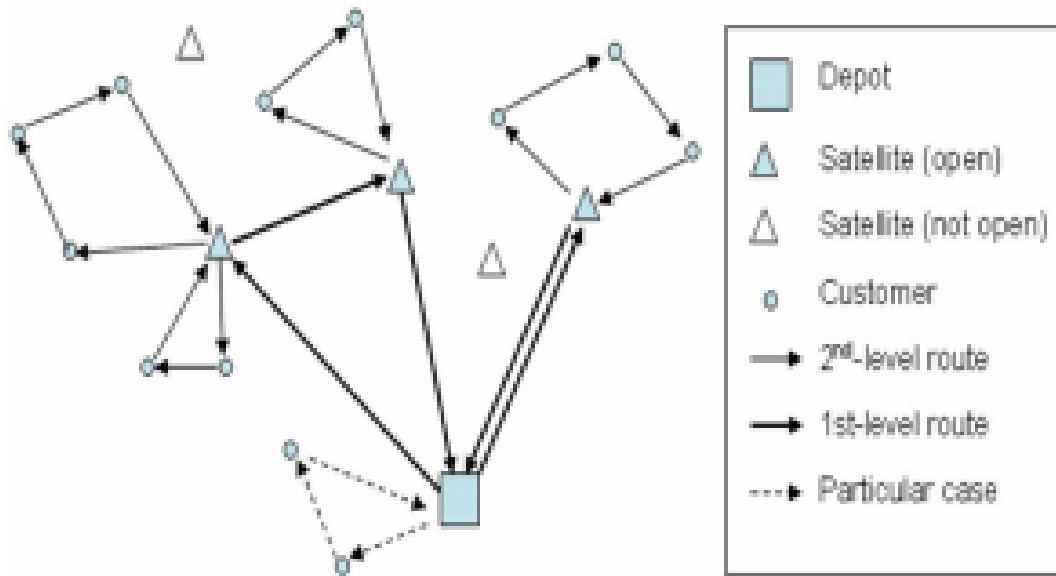
Mais pour mon projet, je n'aurai que les encadrants de mon **PRD** comme utilisateurs, qui connaissent **CPLEX** et savent l'utiliser, qui ont également des connaissances en informatique.

3 Fonctionnalités du système

Mon système doit être capable de résoudre un problème **LRP-2E** qui est un problème de routage de localisation à 2 échelons avec quelques contraintes en plus liés au sujet. Ces contraintes sont les suivantes : l'intégration de type pour les Hubs (Hubs pouvant contenir des produits frais ou non) et l'ajout de plusieurs dépôts (producteurs dans mon cas). Il s'agit d'un problème basique de routage de localisation mais sous 2 niveaux. Le premier niveau consiste à positionner correctement les Hubs et déterminer les chemins entre le dépôt et les Hubs. Le deuxième niveau a pour but de déterminer les trajets entre les Hubs et les clients.

Pour mieux comprendre le problème auquel je suis confronté, je vais vous le résumer.

3.1 LRP-2E

Figure 2.1 – Exemple de schéma de *LRP-2E*

Comme nous pouvons le voir sur le schéma, il y a un dépôt qui peut prendre le rôle d'un producteur, des satellites qui sont des Hubs soit ouverts ou fermés en fonction des clients, et de leurs positionnements.

Nous retrouvons également la présence des 2 niveaux de routage grâce aux épaisseurs des flèches. Les flèches les plus épaisses correspondent au premier routage, qui permet de faire le lien entre le dépôt et les Hubs. Les flèches plus fines sont utilisées pour le deuxième routage permettant de livrer les clients à partir des Hubs.

Le problème sera donc étudié en divisant les différentes parties possible qui sont :

- Le positionnement des Hubs avec leurs ouvertures ou non.
- Les trajets optimaux entre le dépôt et les Hubs.
- Les chemins les plus adaptés des Hubs jusqu'aux consommateurs.

3.2 Rassemblement de toutes les heuristiques

Cette fonctionnalité est très importante pour le bon fonctionnement de mon système car sans la fusion des différentes parties cela ne fonctionnera pas correctement.

En effet, les parties séparément n'ont pas tant d'intérêt mais une fois regroupé celle-ci peuvent permettre de définir de nouvelles fonctions objectives comme par exemple la minimisation de tous les coûts de transports en prenant tout en compte.

Une fois que le regroupement de toutes les parties précédentes sera fait, il faudra que j'intègre les types de Hubs que je peux rencontrer, et l'ajout de plusieurs dépôts (producteurs dans mon cas) dans le premier routage.

4 Structure générale du système

Pour expliquer le fonctionnement de mon projet dans sa globalité, j'ai réalisé un diagramme de cas d'utilisation.

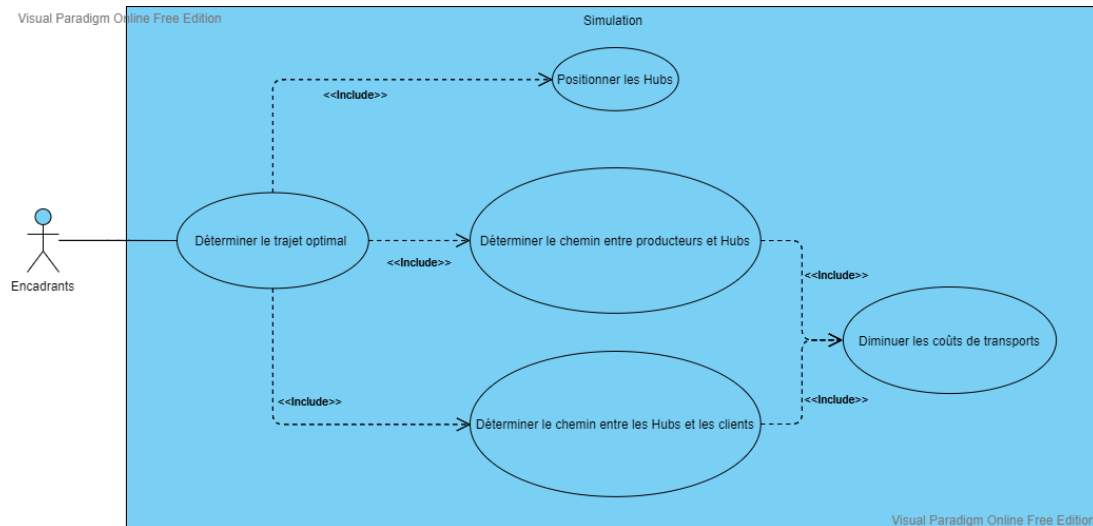


Figure 2.2 – *diagramme de cas d'utilisation de mon projet*

Ce diagramme reprend les relations entre les utilisateurs et la simulation. La simulation a pour but de fournir les trajets optimaux pour les utilisateurs.

Pour réussir cette objectif, elle doit prendre différents paramètres en compte, qui sont le positionnement des Hubs de manière optimal, la détermination du chemin le plus adapté entre les producteurs et les Hubs ainsi que la détermination du trajet idéal entre les Hubs et les clients.

Pour les deux derniers paramètres énoncés précédemment, il faut inclure la diminution des coûts de transports pour que tout soit optimal.

3

État de l'art / Veille technologique

Pour comprendre et effectuer correctement mon sujet qui est "La logistique des circuits courts avec des Hubs intermédiaires", j'ai étudié une dizaine d'articles différents dont j'ai récupéré les informations pertinentes.

Pour cette partie, nous allons retrouver les problèmes que je pourrais rencontrer lors de mon **PRD** ainsi que leurs bases pour bien assimiler le concept.

1 Heuristiques

1.1 Pickup and Delivery Problem

Le **Vehicle Routing Problem (VRP)** est un problème très similaire au **Pickup and Delivery Problem (PDP)** mais avec moins d'information. J'ai donc choisi de ne pas l'étudier car il ne prend pas en compte la différence entre les "pickup" (points relais pour la marchandise) et les "delivery" points (points de livraison de la marchandise) qui pourrait être utile dans mon sujet. En effet, il permet de transporter des produits des points de "pickup" aux points de "delivery" tout en minimisant les coûts de déplacement. Ce problème n'atteint pas directement mon projet mais est à sa base. J'ai donc décidé de l'étudier car il permet de comprendre le fonctionnement de ce type de problème. Pour m'aider à résoudre ce problème j'ai utilisé le document de Savelsbergh et de Sol. [4]

1.1.1 Données

- $N^- = \cup N_i^-$: Clients
- $N^+ = \cup N_i^+$: Fournisseurs
- M : Nombre de véhicules
- $Q_k, k \in M$: Capacité d'un véhicule
- k^+ : Lieu de départ
- k^- : Lieu d'arrivée
- $V = N^- \cup N^+$: Ensemble des sommets possibles
- $M^+ = \{k^+\}$: Ensemble de véhicules fournisseurs

- $M^- = \{k^-\}$: Ensemble de véhicules clients
- $W = M^- \cup M^+$: Ensemble des véhicules
- d_{ij} : Distance entre le point i et le point j
- t_{ij} : Temps de parcours entre le point i et le point j
- c_{ij} : Coût de la distance entre le point i et le point j
- y_{k^+} : Charge au départ
- y_i : Charge du véhicule qui arrive au point i

1.1.2 Variables

- $z_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{si la demande i est affectée au véhicule k} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si le véhicule k va de i vers j} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $D_i, i \in V \cup W$: Le temps de départ du sommet i
- $y_i, i \in V \cup W$: Chargement du véhicule qui arrive au sommet i

1.1.3 Fonctions objectives

- Minimiser le temps complet pour une transaction incluant le temps de trajet, le temps d'attente, le temps de chargement et de déchargement, et les temps de pause
- Minimiser le temps d'achèvement d'un itinéraire
- Minimiser le temps de trajet entre les différentes localisations
- Minimiser la longueur des routes
- Minimiser le nombre de véhicules
- Maximiser le profit

Pour les contraintes, je vais les présenter grâce à des numéros à la fin de la ligne pour pouvoir les définir plus simplement dans une autre section.

1.1.4 Contraintes

$$\sum_{k \in M} z_i^k = 1, \forall i \in N \quad (1)$$

$$\sum_{j \in V \cup W} x_{ij}^k = \sum_{j \in V \cup W} x_{ji}^k = z_i^k, \forall i \in N, \forall k \in M \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V \cup k^-} x_{k^+j}^k = 1, \forall k \in M \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V \cup k^+} x_{ik^-}^k = 1, \forall k \in M \quad (4)$$

$$D_{k^+} = 0, \forall k \in M \quad (5)$$

$$D_p \leq D_q, \forall p \in N^+, \forall q \in N^- \quad (6)$$

$$D_j \geq D_{i^+} * t_{ij} - HV * (1 - x_{ij}^k), \forall i \in N, j \in V, \forall k \in M \quad (7)$$

$$y_{k^+} = 0, \forall k \in M \quad (8)$$

$$y_i \leq \sum_{k \in M} Q_k * z_i^k, \forall i \in N^- \cup N^+, \forall k \in M \quad (9)$$

$$\begin{cases} y_j \geq y_i + q_i - HV * (1 - x_{ij}^k) \\ y_j \leq y_i + q_i - HV * (1 - x_{ij}^k) \end{cases} \quad (10)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\}, \forall i, j \in V \cup W, \forall k \in M \quad (11)$$

$$— z_i^k \in \{0, 1\}, \forall i \in N, \forall k \in M \quad (12)$$

$$— D_i \geq 0, \forall i \in V \cup W \quad (13)$$

$$— y_i \geq 0, \forall i \in V \cup W \quad (14)$$

Définition des contraintes

- (1) : Une demande est attribuée à un véhicule
- (2) : Chaque demande doit être satisfaite par un trajet
- (3) : Un seul véhicule part en destination de j
- (4) : Un seul véhicule vient de i
- (5) : Les temps de départ aux sommets origines sont nuls
- (6) : Les temps de départs aux sommets origines sont plus faibles que les temps de départ aux sommets arrivées
- (7) : Si le véhicule k va de i à j, la date de départ de j est supérieure ou égale à la date de départ de i en comptant le temps de trajet de i à j (HV est une "High Value" qui permet de correctement gérer la condition)
- (8) : Aux points de départs, les chargements sont vides
- (9) : Le chargement total d'un véhicule est inférieure ou égale à la capacité du véhicule par le nombre de trajet
- (10) : Si le véhicule k fait le trajet de i à j, le chargement du véhicule au point j est égal au chargement du véhicule au point i additionné à la taille de la charge en i
- (11) : Le trajet des véhicules existe ou n'existe pas (booléen)
- (12) : L'affectation des demandes existe ou n'existe pas (booléen)
- (13) : Les temps de départ sont forcément positifs ou nuls
- (14) : Les chargements des véhicules sont forcément positifs ou nuls

1.2 Vehicle Routing Problem with Time Windows

L'étude de ce problème a pour but d'associer un problème de routage de véhicule **VRP** avec des contraintes de temps et de capacité. J'ai décidé d'étudier ce problème car il ajoute les contraintes que je vais devoir intégrer à mon système. Pour m'aider, j'ai étudié le document de Cordeau [2].

Pour présenter correctement ce problème je vais utiliser un schéma créé par mes soins que nous pouvons voir ci-dessous. Il représente un exemple de la tournée d'un producteur pour livrer tous ses clients :

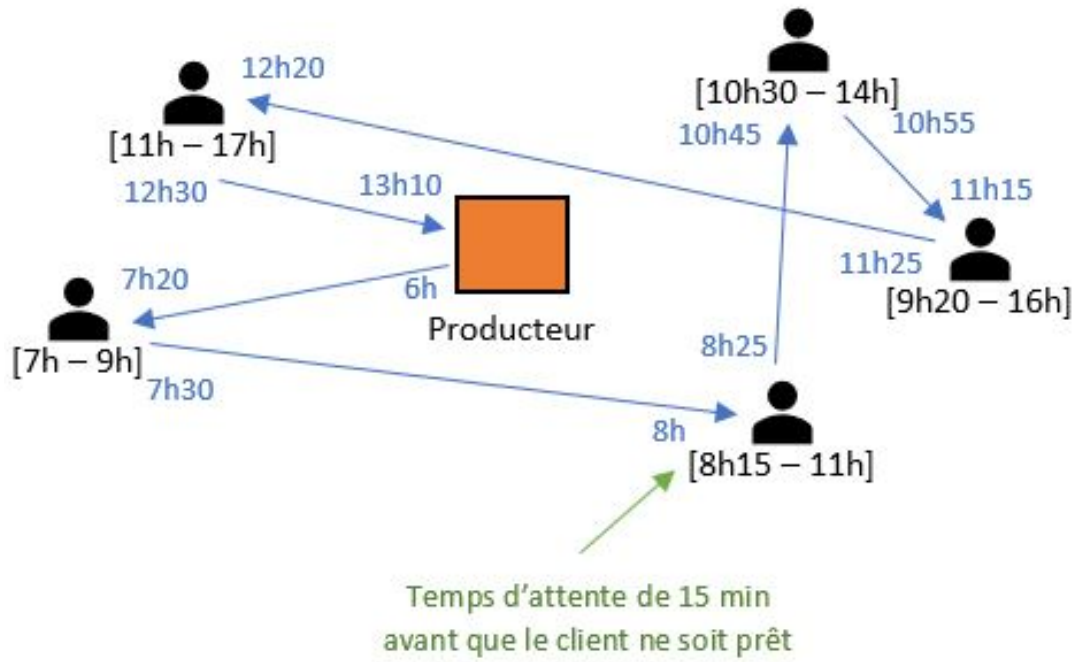


Figure 3.1 – Exemple de VRPTW

Cette image nous montre un exemple de **Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)** en considérant que le déchargement des produits dure 10 min en moyenne.

Pour résoudre ce problème, il faut considérer un graphe avec les sommets représentant les clients à livrer et les arcs correspondant aux chemins pris par le véhicule.

1.2.1 Données

- V : L'ensemble des clients
- A : L'ensemble des chemins
- K : L'ensemble des véhicules utilisés
- E : Le départ du dépôt le plus tôt possible
- L : Le départ du dépôt le plus tard possible
- $a_i, \forall i \in V$: La borne de temps inférieur du client
- $b_i, \forall i \in V$: La borne de temps supérieur du client
- $d_i, \forall i \in V$: Les demandes des clients $d_0 = d_{n+1} = 0$ Pour indiquer qu'il n'y pas de demande sur le premier et le dernier noeuds
- $s_i, \forall i \in V$: Le temps de service $s_0 = s_{n+1} = 0$ Pour indiquer qu'il n'y pas de temps de service sur le premier et le dernier noeuds
- $t_{ij}, \forall i, j \in V$: Le temps de trajet entre les sommets i et j
- $c_{ij}, \forall i, j \in V$: La capacité du transport entre 2 sommets (i et j)
- $M_{ij} = \max\{b_i + s_i + t_{ij} - a_j, 0\}$: Une constante très grande

1.2.2 Variables

- $x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si le véhicule } k \text{ emprunte l'arc } (i,j) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (i,j) \in A, k \in K$
- $w_{ik}, i \in V, k \in K$: L'heure de départ du véhicule k du sommet i

1.2.3 Fonctions objectives

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} * x_{ijk}$$

Cette fonction objective permet de minimiser le coût des trajets entre les sommets i et j effectué par le véhicule k .

1.2.4 Contraintes

$$\text{— } \sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} = 1, \forall i \in N \quad (1)$$

$$\text{— } \sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{0jk} = 1, \forall k \in K \quad (2)$$

$$\text{— } \sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ijk} - \sum_{i \in \Delta^+(j)} x_{jik} = 0, \forall k \in K, \forall j \in N \quad (3)$$

$$\text{— } \sum_{i \in \Delta^-(n+1)} x_{i(n+1)k} = 1, \forall k \in K \quad (4)$$

$$\text{— } x_{ijk} * (w_{ik} + s_i + t_{ij} - w_{jk}) \leq 0, \forall k \in K, \forall (i,j) \in A \quad (5)$$

$$\text{— } a_i * \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \leq w_{ik} \leq b_i * \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk}, \forall k \in K, \forall i \in N \quad (6)$$

$$\text{— } E \leq w_{ik} \leq L, \forall k \in K, \forall i \in \{0, n+1\} \quad (7)$$

$$\text{— } \sum_{i \in N} \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \leq C, \forall k \in K \quad (8)$$

$$\text{— } x_{ijk} \in \{0, 1\}, \forall k \in K, \forall (i,j) \in A \quad (9)$$

$$\text{— } a_0 = E \leq \min b_i - t_{0i}, \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (10)$$

$$\text{— } b_{n+1} = L \geq \min a_i + s_i + t_{in}, \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (11)$$

$$\text{— } w_{ik} + s_i + t_{ij} - w_{jk} \leq (1 - x_{ijk}) * M_{ij}, \forall k \in K, \forall (i,j) \in A \quad (7.6a)$$

Définition des contraintes

- (1) : Permet d'affecter exactement une route à chaque client
- (2) : Indique qu'il faut une route qui part du point d'origine pour aller sur un point quelconque j
- (3) : Indique que pour 2 arcs symétriques $((i,j)$ et $(j,i))$, il n'y a que 1 route qui les traversent dans les 2 sens
- (4) : Indique qu'il faut une route qui passe par le point d'arrivée provenant d'un point quelconque i
- (5) : Permet de vérifier que les temps de parcours et de service sont bien respectés
- (6) : Permet de garantir le respect de l'heure d'arrivée et de départ du véhicule pour chaque point du graphe hormis le point d'origine et le point final
- (7) : Réalise la même chose que la (6) mais en prenant en compte seulement le point d'origine et le point final
- (8) : Permet de gérer la demande en fonction de la capacité
- (9) : Indique que la variable est un booléen
- (10) : Permet de valider que le temps de départ est le plus tôt possible et que rien d'autre n'est inférieur à ce temps
- (11) : Permet de valider que le temps d'arrivée est le plus tard possible et que rien d'autre n'est supérieur à ce temps
- (7.6a) : Permet de linéariser la contrainte (5)

1.3 Location Routing Problem

Le **Location Routing Problem (LRP)** est un problème qui permet de déterminer au final la localisation des dépôts (ou Hubs) ainsi que les tournées des véhicules. Dans plusieurs cas et pour simplifier le travail, les chercheurs ont fait le choix de séparer le problème en 2.

Pour étudier ce problème je me suis inspiré du travail de Caroline Prodhon et Christian Prins [6] et de l'étude de Jin Xin Cao, Zongxi Zhang et Yuguang Zhou [3].

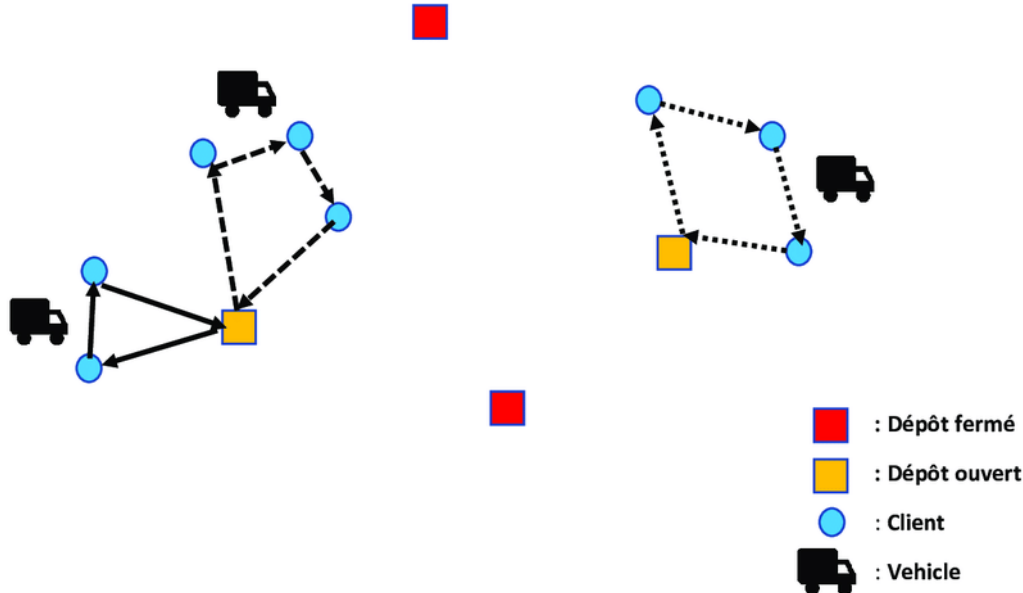


Figure 3.2 – Exemple de LRP

Ce schéma sert à illustrer le problème de **LRP** en adaptant légèrement à mon sujet. Nous retrouvons différents dépôts ouverts ou fermés, des clients qui doivent être approvisionnés et des véhicules permettant de réaliser les tournées. Les objectifs de la résolution de ce problème sont donc, l'ouverture ou non des dépôts et la détermination des circuits les plus optimisés.

1.3.1 Données

- V_1 : L'ensemble des clients
- V_2 : L'ensemble des dépôts potentiels
- $V_3, V_3 \subseteq V_2$: L'ensemble des dépôts ouverts
- V : L'ensemble des noeuds comprenant les dépôts et les clients
- P : Un sous ensemble propre de V contenant V_2
- \bar{P} : Le complémentaire de P
- K : L'ensemble des véhicules
- $d_{ij}, j \in V, \forall i \in V$: Distance entre 2 noeuds i et j
- $q_i, \forall i \in V_1$: Quantité de produits des clients
- $f_i, \forall i \in V_2$: Coût fixe pour l'ouverture d'un dépôt
- $v_i, \forall i \in V_2$: Coût variable par unité déposé au dépôt
- $t_i, \forall i \in V_2$: Maximum de livraison au dépôt
- h : Capacité d'un véhicule
- e : Prix au kilomètre d'un véhicule

1.3.2 Variables

- $x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si le noeud } i \text{ précède } j \text{ sur l'itinéraire du véhicule } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad \forall i, j \in V, k \in K$
- $y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si le noeud } i \text{ est desservi par le dépôt } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad \forall i \in V_1, j \in V_2$
- $z_i = \begin{cases} 1 & \text{si le dépôt } i \text{ est ouvert} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad \forall i \in V_2$

1.3.3 Fonctions objectives

$$\min \sum_{i \in V_2} f_i * z_i + \sum_{i \in V_1} \sum_{j \in V_2} q_i * v_j * y_{ij} + e * \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} d_{ij} * x_{ijk}$$

Cette fonction objective peut être divisée en 3 parties séparées par des additions. La première partie permet de minimiser les prix d'utilisation des dépôts. La deuxième partie a pour but de minimiser les coûts liés au livraison des dépôts. La dernière partie permet de minimiser la distance parcourue entre 2 noeuds et également le prix liés aux kilomètres parcourus.

1.3.4 Contraintes

- $\sum_{j \in V} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1, \forall i \in V_1 \quad (1)$
- $\sum_{j \in V_2} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 0, \forall i \in V_2 \quad (2)$
- $\sum_{i \in V_1} \sum_{j \in V} q_i * x_{ijk} \leq h, \forall k \in K \quad (3)$
- $\sum_{i \in P} \sum_{j \in \bar{P}} \sum_{k \in K} x_{ijk} \geq 1, \forall (P, \bar{P}) \quad (4)$
- $\sum_{i \in V} x_{jik} - \sum_{i \in V} x_{ijk} = 0, \forall j \in V, \forall k \in K \quad (5)$
- $\sum_{i \in V_1} \sum_{j \in V_2} x_{ijk} \leq 1, \forall k \in K \quad (6)$
- $\sum_{j \in V_1} q_j * y_{ji} \leq t_i * z_i, \forall i \in V_2 \quad (7)$
- $\sum_{l \in V} x_{ilk} + \sum_{l \in V} x_{jlk} - y_{ij} \leq 1, \forall i \in V_1, \forall j \in V_2, \forall k \in K \quad (8)$
- $x_{ijk} \in \{0, 1\}, \forall i, j \in V, k \in K \quad (9)$
- $y_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i \in V_1, j \in V_2 \quad (10)$
- $z_i \in \{0, 1\}, \forall i \in V_2 \quad (11)$

Définition des contraintes

- (1) : Permet d'associer un client à une route seulement
- (2) : Indique que les dépôts ouverts ne sont pas reliés entre eux
- (3) : Implique que la capacité transportée ne dépasse pas celle du véhicule
- (4) : Indique que toutes les routes sont connectées à un dépôt et que tous les clients sont reliés à un dépôt potentiel
- (5) et (6) : Garantissent la connectivité des noeuds sur une route

- (7) : Permet de ne pas dépasser le maximum de capacité livrable possible par dépôt
- (8) : Permet de relier les dépôts aux bons clients
- (9) à (11) : Indique que la variable est un booléen

1.4 Location Routing Problem 2 Echelons

Le **LRP-2E** est le principalement problème que je vais utiliser pour résoudre mon système, parce que sa résolution permet de localiser les différents Hubs utilisable et les mieux adapter pour effectuer les trajets entre le dépôt et les Hubs, et entre les Hubs et les clients.

Pour ce problème, j'ai utilisé plusieurs documents qui sont :

- Un document de Viet-Phuong Nguyen, Christian Prins and Caroline Prodhon [7] qui parle de la résolution d'un **LRP-2E** avec des contraintes supplémentaires très complexes.
- Un document de Khosro Pichkaa, Amirsaman H. Bajgiranb, Matthew E.H. Peteringb, Jaejin Jangb et Xiaohang Yuea [5] qui étudie une variante du **LRP-2E** qui permet d'ajouter des contraintes sur les trajets des véhicules, en disant que le véhicule ne peut pas retourner au dépôt dans le premier échelon, et qu'à partir du deuxième échelon, il ne peut pas retourner aux Hubs.
- Le document de Alireza Fallahrafti, Ehsan Ardjmand, William A. Young et Gary R. Weckman [1] est très intéressant car il aborde le problème **LRP-2E** au niveau du transport d'argent entre une banque principale et d'autres banques mais il ajoute beaucoup trop de contraintes au niveau de la sécurité qui ne sont pas nécessaires dans mon cas. C'est pourquoi, je vais l'étudier plus particulièrement en enlevant les contraintes inintéressantes et en l'adaptant à mon sujet.

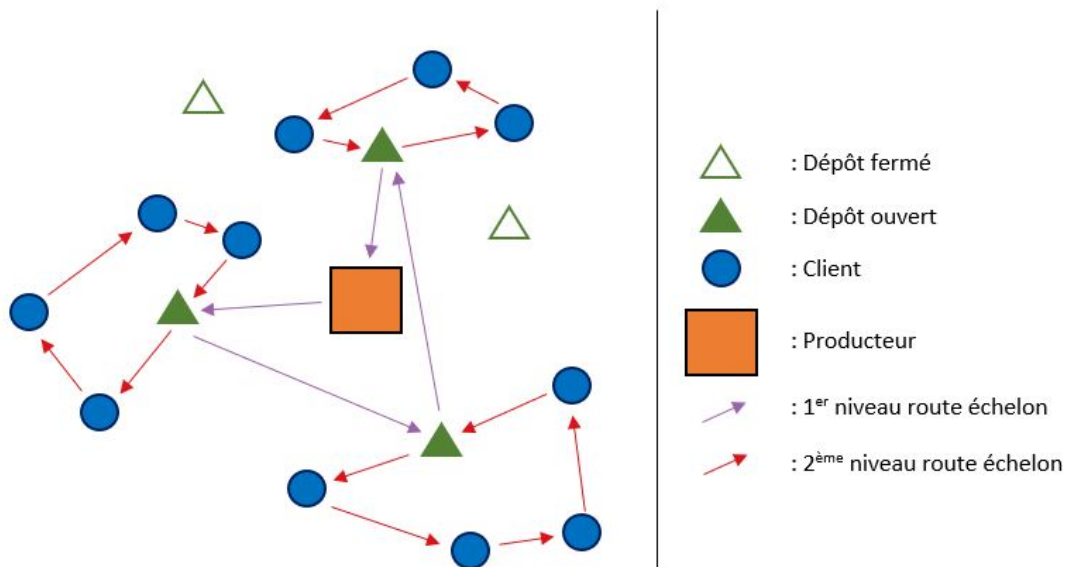


Figure 3.3 – Exemple de **LRP-2E**

Le schéma ci-dessus nous montre un exemple possible de **LRP-2E** avec un producteur, des Hubs intermédiaires soit ouverts, soit fermés et des clients. Les flèches ont des couleurs différentes car les couleurs correspondent chacune à un objectif. Les flèches violettes représentent une route entre le producteur et les Hubs. Alors que les flèches rouges représentent une route entre les Hubs et les clients.

1.4.1 Données

- $k_1 \in K_1$: un véhicule dans l'ensemble de véhicules liés au premier échelon

- $k_2 \in K_2$: un véhicule dans l'ensemble de véhicules liés au deuxième échelon
- N_1 : l'ensemble des noeuds du premier échelon donc entre le dépôt principal et les Hubs
- N_2 : l'ensemble des noeuds du deuxième échelon donc entre les Hubs et les clients
- $l \in L$: un Hub dans l'ensemble des Hubs possibles
- $c \in C$: Ensemble de clients
- $t \in T$: Ensemble de période de temps
- o_l : Coût d'ouverture d'un dépôt
- v^{k_1} : Prix fixe du véhicule dans le premier échelon
- v^{k_2} : Prix fixe du véhicule dans le deuxième échelon
- c_{ij} : Coût moyen de trajet entre le noeud i et le noeud j
- p_t : Coût d'opportunité dans une période de temps t
- q^{k_1} : Capacité du véhicule dans le premier échelon
- q^{k_2} : Capacité du véhicule dans le deuxième échelon
- n_l : Capacité du Hub l
- tt_{ijt} : Temps moyen de transport entre le noeud i et j dans une période de temps t
- st_{it} : Temps moyen de service pour chaque noeud i dans une période de temps t
- d_{ct} : Demande d'un client dans une période de temps t
- $[ef_{it}, lf_{it}]$: Contrainte de fenêtre de temps dans le premier échelon pour un noeud i dans une période de temps t
- $[es_{it}, ls_{it}]$: Contrainte de fenêtre de temps dans le deuxième échelon pour un noeud i dans une période de temps t
- η : Quantité minimale de produits livrée aux clients
- M : Un très grand nombre

1.4.2 Variables

- $x_{ijt}^{k_1} = \begin{cases} 1 & \text{si le véhicule } k_1 \text{ traverse du noeud i au noeud j dans le premier échelon} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $f_{lt}^{k_1} = \begin{cases} 1 & \text{si le véhicule } k_1 \text{ visite un dépôt l dans le premier échelon} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $h_{ijt}^{k_2} = \begin{cases} 1 & \text{si le véhicule } k_2 \text{ traverse du noeud i au noeud j dans le deuxième échelon} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $g_{ct}^{k_2} = \begin{cases} 1 & \text{si le véhicule } k_2 \text{ visite un client c dans le deuxième échelon} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $y_l = \begin{cases} 1 & \text{si le Hub l est ouvert} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $Y_{lct} = \begin{cases} 1 & \text{si le Hub l sert un client c dans une période de temps t} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $u_{it}^{k_1}$: Quantité de marchandise à bord du véhicule k_1 juste après avoir visité le noeud i dans une période de temps t
- $u_{it}^{k_2}$: Quantité de marchandise à bord du véhicule k_2 juste après avoir visité le noeud i dans une période de temps t
- $\alpha_{lt}^{k_1}$: Quantité de marchandise livrée au Hub l par le véhicule k_1
- $\beta_{ct}^{k_2}$: Quantité de marchandise livrée au client c par le véhicule k_2
- I_{lt} : Niveau d'inventaire dans le dépôt principal (producteur) à un instant t
- I_{ct} : Niveau d'inventaire chez le client à un instant t
- $tf_{it}^{k_1}$: Heure d'arrivée du véhicule k_1 au noeud i dans le premier échelon
- $ts_{it}^{k_2}$: Heure d'arrivée du véhicule k_2 au noeud i dans le deuxième échelon

1.4.3 Fonctions objectives

Pour ce problème nous avons 2 fonctions objectives à minimiser qui sont les suivantes :

$$\min \sum_{l \in L} o_l * y_l + \sum_{t \in T} \left(\sum_{k_1 \in K_1} \sum_{i, j \in N_1} c_{ij} * x_{ijt}^{k_1} + \sum_{k_2 \in K_2} \sum_{i, j \in N_2} c_{ij} * h_{ijt}^{k_2} + \sum_{k_1 \in K_1} \sum_{l \in L} v^{k_1} * x_{l0t}^{k_1} + \sum_{k_2 \in K_2} \sum_{l \in L} \sum_{c \in C} v^{k_2} * h_{lct}^{k_2} + p_t * \left(\sum_{l \in L} I_{lt} + \sum_{c \in C} I_{ct} \right) \right)$$

Cette fonction objective permet de minimiser le coût total.

$$\min \sum_{t \in T} \left(\sum_{k_1 \in K_1} \sum_{i, j \in N_1} (u_{it}^{k_1} * tt_{ijt}) * x_{ijt}^{k_1} + \sum_{k_2 \in K_2} \sum_{i, j \in N_2} (u_{it}^{k_2} * tt_{ijt}) * h_{ijt}^{k_2} \right)$$

Cette fonction objective permet de minimiser le temps d'arrivée en respectant les charges à livrer aux clients.

1.4.4 Contraintes

$$- \sum_{i \in N_2} h_{ict}^{k_2} = \sum_{j \in N_2} h_{cjt}^{k_2} = g_{ct}^{k_2}, \forall c \in C, k_2 \in K_2, t \in T \quad (1)$$

$$- \sum_{i \in N_2} \sum_{k \in K_2} h_{ict}^{k_2} \leq 1, \forall c \in C, t \in T \quad (2)$$

$$- \sum_{i \in L} \sum_{j \in C} h_{ijt}^{k_2} \leq 1, \forall k_2 \in K_2, t \in T \quad (3)$$

$$- \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{k_2 \in K_2} h_{lct}^{k_2} \leq M * y_l, \forall l \in L \quad (4)$$

$$- \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} \sum_{k_2 \in K_2} h_{lct}^{k_2} \geq 1 - M(1 - y_l), \forall l \in L \quad (5)$$

$$- h_{clt}^{k_2} \leq y_{lct}, \forall c \in C, l \in L, k_2 \in K_2, t \in T \quad (6)$$

$$- h_{lct}^{k_2} \leq y_{lct}, \forall c \in C, l \in L, k_2 \in K_2, t \in T \quad (7)$$

$$- h_{lct}^{k_2} + y_{lit} + \sum_{l' \in L, l' \neq l} y_{l'jt} \leq 2, \forall i, j \in C, l, l' \in L, k_2 \in K_2, t \in T \quad (8)$$

$$- \sum_{l \in L} y_{lct} = 1, \forall c \in C, t \in T \quad (9)$$

$$- \beta_{ct}^{k_2} \leq g_{ct}^{k_2} * (m_c - I_{ct}), \forall c \in C, k_2 \in K_2, t \in T \quad (10)$$

$$- \beta_{ct}^{k_2} \geq \eta - M * (1 - g_{ct}^{k_2}), \forall c \in C, k_2 \in K_2, t \in T \quad (11)$$

$$- \sum_{c \in C} \beta_{ct}^{k_2} \leq q_{k_2}, \forall k_2 \in K_2, t \in T \quad (12)$$

$$- \sum_{c \in C} d_{ct} * y_{lct} \leq n_l * y_l, \forall l \in L, t \in T \quad (13)$$

$$- I_{ct} \leq m_c, \forall c \in C, t \in T \quad (14)$$

$$- I_{c(t-1)} + \sum_{c \in C} \beta_{ct}^{k_2} - d_{ct} = I_{ct}, \forall c \in C, t \in T \quad (15)$$

$$- ts_{it}^{k_2} + st_{it} + tt_{ijt} - M * (1 - h_{ijt}^{k_2}) \leq ts_{jt}^{k_2}, \forall i \in C, j \in N_2, k_2 \in K_2, t \in T \quad (16)$$

$$- tt_{ijt} - M * (1 - h_{ijt}^{k_2}) \leq ts_{jt}^{k_2}, \forall i \in L, j \in N_2, k_2 \in K_2, t \in T \quad (17)$$

$$- g_{it}^{k_2} * es_{it} \leq ts_{it}^{k_2} \leq g_{it}^{k_2} * ls_{it}, \forall i \in N_2, k_2 \in K_2, t \in T \quad (18)$$

$$- u_{it}^{k_2} \leq q^{k_2}, \forall i \in N_2, k_2 \in K_2, t \in T \quad (19)$$

$$- \sum_{j \in N_1} x_{jit}^{k_1} = \sum_{j \in N_1} x_{ijt}^{k_1} = f_{it}^{k_1}, \forall i \in N_1, k_1 \in K_1, t \in T \quad (20)$$

$$- x_{l0t}^{k_1} = \sum_{i \in N_1} x_{ilt}^{k_1}, \forall l \in L, k_1 \in K_1, t \in T \quad (21)$$

$$- \sum_{t \in T} \sum_{i \in N_1} \sum_{k_1 \in K_1} x_{ilt}^{k_1} \leq M * y_l, \forall l \in L \quad (22)$$

$$- \sum_{t \in T} \sum_{i \in N_1} \sum_{k_1 \in K_1} x_{ilt}^{k_1} \leq 1 - M(1 - y_l), \forall l \in L \quad (23)$$

$$- \alpha_{lt}^{k_1} \leq n_l * y_l, \forall l \in L, k_1 \in K_1, t \in T \quad (24)$$

$$- \alpha_{lt}^{k_1} \leq q_{k_1} * \sum_{i \in N_1} x_{ilt}^{k_1}, \forall l \in L, k_1 \in K_1, t \in T \quad (25)$$

$$- \sum_{l \in L} \alpha_{lt}^{k_1} \leq q_{k_1}, \forall k_1 \in K_1, t \in T \quad (26)$$

$$- I_{l(t-1)} + \sum_{k_1 \in K_1} \alpha_{lt}^{k_1} - \sum_{k \in K_2} \sum_{c \in C} \beta_{ct}^{k_2} * Y_{lct} = I_{lt}, \forall l \in L, t \in T \quad (27)$$

$$- ts_{it}^{k_1} + st_{it} + tt_{ijt} - M * (1 - x_{ijt}^{k_1}) \leq tf_{jt}^{k_1}, \forall i, j \in N_1, k_1 \in K_1, t \in T \quad (28)$$

$$- tt_{i0t} - M * (1 - x_{i0t}^{k_1}) \leq tf_{jt}^{k_1}, \forall i \in L, k_1 \in K_1, t \in T \quad (29)$$

$$- f_{it}^{k_1} * ef_{it} \leq tf_{it}^{k_1} \leq f_{it}^{k_1} * lf_{it}, \forall i \in N_1, k_1 \in K_1, t \in T \quad (30)$$

$$- u_{it}^{k_1} \leq q^{k_1}, \forall i \in N_1, k_1 \in K_1, t \in T \quad (31)$$

$$- \alpha_{jt}^{k_1} + u_{jt}^{k_1} - M * (1 - x_{ijt}^{k_1}) \leq u_{it}^{k_1}, \forall i \in N_1, j \in L, k_1 \in K_1, t \in T \quad (32)$$

$$- x_{ijt}^{k_1}, f_{lt}^{k_1}, y_l \in \{0, 1\}, \forall i, j \in N_1, l \in L, k_1 \in K_1, t \in T \quad (33)$$

$$- h_{ijt}^{k_2}, g_{ct}^{k_2}, Y_{lct} \in \{0, 1\}, \forall i, j \in N_2, l \in L, c \in C, k_2 \in K_2, t \in T \quad (34)$$

$$- \alpha_{lt}^{k_1}, I_{lt}, tf_{it}^{k_1}, u_{it}^{k_1} \geq 0, \forall i \in N_1, l \in L, k_1 \in K_1, t \in T \quad (35)$$

$$- \beta_{ct}^{k_2}, I_{ct}, ts_{it}^{k_2}, u_{it}^{k_2} \geq 0, \forall i \in N_2, c \in C, k_2 \in K_2, t \in T \quad (36)$$

Définition des contraintes

- (1) : Régule la conservation du débit pour chaque client dans chaque période de temps
- (2) : Garantit que chaque client est visité au maximum une fois par période
- (3) : Assure que chaque véhicule de chaque période va d'un Hub à un client au maximum une fois
- (4) et (5) : Fait en sorte que si un Hub est ouvert, il y a un véhicule au moins qui doit en sortir
- (6) à (8) : Assure que les routes du deuxième échelon ont la même origine et la même destination
- (9) : Garantit que chaque client est associé avec exactement un Hub
- (10) et (11) : Minimum et maximum de marchandise définie pour le client
- (12) : Permet de garantir que la marchandise délivrée au client par un véhicule est inférieur à la capacité du véhicule
- (13) : Garantit que la demande du client assigné à un Hub ouvert peut être satisfaite tout en respectant la capacité du Hub
- (14) et (15) : Régule le niveau d'inventaire des clients dans une période de temps
- (16) et (17) : Modélise la relation entre les temps d'arrivée d'un véhicule à des noeuds consécutifs le long d'un itinéraire dans le deuxième échelon
- (18) : Satisfait les fenêtres de temps
- (19) : Garantit que la quantité de marchandise dans le véhicule du deuxième échelon soit inférieur à la capacité de ce même véhicule
- (20) : Assure la conservation du débit pour chaque Hub
- (21) : Garantit que si un véhicule quitte un Hub en direction du dépôt principal, il peut desservir d'autres Hubs sur son chemin tant qu'il retourne au dépôt principal
- (22) et (23) : Assure que si un Hub possible est ouvert, alors au moins un véhicule peut entrer dedans
- (24) : Elle est associée aux limites de capacité des Hubs

- (25) et (26) : Garantit que le total de la marchandise délivrée au Hub par un véhicule ne dépasse pas la capacité du véhicule
- (27) : Régule les stocks de l'inventaire du Hub
- (28) et (29) : Exprime la relation entre les temps d'arrivée d'un véhicule à deux noeuds consécutifs dans le premier échelon
- (30) : Considération des restrictions sur les fenêtres de temps dans le premier échelon
- (31) : Exprime le maximum de marchandise dans le véhicule dans le premier échelon
- (32) : Modélise la quantité de marchandise transportée par un véhicule le long de chaque arc (i, j) dans le premier échelon
- (33) à (36) : Servent à spécifier le type des variables

2 Logiciel de Simulation

Dans cette sous-partie, nous allons voir les différents logiciels possibles pour faire de la simulation.

2.1 Ortec Supply Chain Design

Il s'agit d'un logiciel d'optimisation de réseaux conçu par le groupe Ortec. Ortec est un fournisseur mondial de logiciels d'optimisation mathématique, avec plus de 1000 employés répartis dans 13 pays différents dans le monde.

L'objectif du logiciel est d'évaluer, d'optimiser et de concevoir, grâce aux mathématiques, une chaîne logistique unique qui répond à tous les besoins. Il permet également d'effectuer des simulations en modélisant les flux entrants, les stocks, la production et les livraisons et en s'adaptant aux demandes spécifiques des entreprises.

Avec ce logiciel, les entreprises réduisent les risques liés à l'offre et à la demande, les coûts de stockage et optimise leurs investissements en augmentant leurs marges.

2.2 PTV Route Optimiser

PTV Route Optimiser est un logiciel d'optimisation de tournées permettant d'améliorer les trajets des véhicules de livraison, de distribution et de collecte, afin de réduire l'impact écologique et d'augmenter la marge des entreprises clientes.

Il a pour objectif de planifier et d'optimiser les tournées des véhicules en prenant en compte toutes les restrictions apportées par le client. Il permet aussi de calculer précisément les coûts de transports pour garder le contrôle sur les dépenses de l'entreprise. Il est possible de connecter le logiciel à l'ERP de l'entreprise, de suivre en temps réel l'exécution des livraisons et de notifier les clients de l'heure d'arrivée de leur livraison.

5 grands avantages sont à retenir de ce logiciel, car il permet :

- D'augmenter la productivité des entreprises
- De réduire les coûts de transport
- D'améliorer le service client des entreprises grâce au système de notification en temps réel
- D'analyser la performance
- De polluer moins

2.3 AnyLogistix

Il s'agit d'un logiciel de simulation de chaîne d'approvisionnement en prenant en compte toutes les contraintes possibles pour permettre à la chaîne d'être le plus optimal. Il permet de gérer divers points liés à l'optimisation en s'occupant :

- De la conception du réseaux de la chaîne d'approvisionnement
- De la planification des transports
- De l'optimisation des inventaires
- De l'évaluation des risques liés à la chaîne d'approvisionnement
- De l'analyse des installations dans l'usine avec des schémas de production des machines par exemple
- De la planification de la capacité de production
- D'utiliser la quantification de l'effet de BullWhip

Il propose de nombreux cas pratiques, exemples et tutoriels afin de comprendre comment il faut s'en servir et à quoi il sert concrètement.

3 Conclusion

J'ai décidé d'étudier **AnyLogistix** car ce logiciel me permet de faire comme les logiciels présentés précédemment avec la gestion des événements aléatoires qui peut être intéressants dans le cadre de mon sujet. De plus, les autres logiciels sont payants et ne possèdent pas d'accès académique. Il s'agit donc d'un logiciel très complet avec un accès gratuit, parfait pour réaliser mon projet.

4

Analyse et conception

Dans ce chapitre, nous aborderons à la réalisation progressive de la résolution d'un problème **LRP-2E**. Nous passerons d'une forme basique pour finir par une forme qui prend en compte la contrainte sur les types de Hub.

1 Analyse

1.1 Hypothèses utilisées

1.2 Spécifications

J'ai décidé d'utiliser **CPLEX** pour la réalisation de mon projet. **CPLEX** est un outil informatique permettant d'optimiser des solutions mathématiques. Il me permet donc de modéliser mon problème et d'effectuer la simulation sur la résolution de celui-ci. Le résultat de cette simulation sera sous forme de tableau ou de matrice que l'utilisateur devra interpréter.

2 Modélisation proposée

Pour détailler ma modélisation, j'ai pris comme base le travail de Viet-Phuong Nguyen, Christian Prins and Caroline Prodhon [7].

La modélisation suivante n'a pas été effectuée, car nous avons rencontré des problèmes avec les ensembles de sous-ensembles qui étaient trop complexe à modéliser avec **GLPK**. C'est pourquoi, je me suis focalisé avec l'accord de mes encadrants sur l'étude du logiciel **AnyLogistix**.

2.1 Données

- V : l'ensemble des noeuds du dépôt principal en passant par les Hubs pour finir avec les clients
- $V_1 = \{0\} \cup V_s$: l'ensemble des noeuds visité par le véhicule du premier échelon

- $V_2 = V_c \cup V_s$: l'ensemble des noeuds visité par le véhicule du deuxième échelon
- V_s : un sous ensemble de m emplacement de Hubs possible (index allant de 1 à m)
- V_c : un sous ensemble de n clients (index allant de m+1 à m+n)
- c_{ij} : coût de transport entre 2 sommets i et j
- $W_i \forall i \in V_s$: capacité d'un Hub
- $O_i \forall i \in V_s$: coût d'ouverture d'un Hub
- $d_j \forall j \in V_c$: demande d'un client
- Q_1 : capacité de véhicule disponible au dépôt pour le premier échelon
- Q_2 : capacité de véhicule disponible pour tous les Hubs dans le deuxième échelon
- F_1 : prix fixe d'un véhicule dans le premier échelon
- F_2 : prix fixe d'un véhicule dans le deuxième échelon
- $\delta(F) \forall \text{ensemble de noeuds } F \subseteq V$: désigne le sous-ensemble d'arêtes dont l'un des noeuds est dans F et l'autre dans V sans F
- $\gamma(F)$: correspond au sous-ensemble d'arêtes avec les deux noeuds dans F

2.2 Supposition et informations importantes

- On suppose que le dépôt principal et le total de la capacité des Hubs peuvent toujours satisfaire les demandes des clients
- Chaque véhicule effectue au plus 1 trajet
- Chaque trajet du second échelon doit commencer et terminer au même Hub ouvert
- Chaque Hub ouvert doit recevoir assez de biens venant du premier échelon pour satisfaire les clients
- $r_1(F) = \sum_{i \in F} \sum_{j \in V_c} d_j * f_{ij} / Q_1$, avec $F \subseteq V_s$: correspond au nombre minimum de véhicule ou de chemin dans le premier échelon pour fournir F
- $r_2(F) = \sum_{j \in F} d_j / Q_2$, avec $F \subseteq V_c$: correspond au nombre minimum de véhicule ou de chemin dans le deuxième échelon pour fournir les clients appartenant à F

2.3 Variables

- $u(A) = \sum_{[i,j] \in A} u_{ij}$, avec A un sous ensemble d'arêtes : correspond au sous-ensemble d'arêtes avec les deux noeuds dans F
- $z_i = \begin{cases} 1 & \text{si le Hub } i \text{ est ouvert} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}, i \in V_s$
- $f_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si le client } j \text{ est associé à un Hub } i \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}, i \in V_s, j \in V_c$
- $x_{ij} \in \{0, 1, 2\}$: représente le nombre de fois que l'arête $[i, j] \in \gamma(V_2)$ est traversé par un véhicule du second échelon. La valeur 2 n'est utilisé que s'il y a un trajet direct entre le Hub et le client
- $y_{ij} \in \{0, 1, 2\}$: représente le nombre de fois que l'arête $[i, j] \in \gamma(V_1)$ est traversé par un véhicule du premier échelon. La valeur 2 n'est utilisé que s'il y a un trajet direct entre le dépôt principal et le Hub

2.4 Fonction objective

$$\min \left(\sum_{i \in V_s} O_i * z_i + (F_1/2) * \sum_{i \in V_s} y_{0i} + (F_2/2) * \sum_{i \in V_s} \sum_{j \in V_c} x_{ij} + \sum_{[i,j] \in \gamma_{V_1}} c_{ij} * y_{ij} + \sum_{[i,j] \in \gamma_{V_2}} c_{ij} * x_{ij} \right)$$

Cette fonction objective inclue le coût d'ouverture des Hubs sélectionnés, le coût fixe des véhicules utilisés dans le deuxième échelon, le coût des trajets dans le premier échelon et dans le deuxième.

2.5 Contraintes

- $y(\delta_i) = 2 * z_i, \forall i \in V_s$ (1)
- $y(\delta_F) \geq 2 * r_1(F), \forall F \subseteq V_s$ (2)
- $x(\delta_j) = 2, \forall j \in V_c$ (3)
- $x(\delta_F) \geq 2 * r_2(F), \forall F \subseteq V_c$ (4)
- $\sum_{i \in F} x_{ij} + 2 * x(\gamma(F' \cup \{j, l\})) + \sum_{i \in V_s \setminus F} x_{il} \leq 2 * |F'| + 3, \forall j, l \in V_c, F \subseteq V_s, F' \subseteq V_c \setminus \{j, l\}, F' \neq \emptyset$ (5)
- $\sum_{i \in F} x_{ij} + 3 * x_{jl} + \sum_{i \in V_s \setminus F} x_{il} \leq 4, \forall j, l \in V_c, \forall F \subseteq V_s$ (6)
- $\sum_{j \in V_c} d_i * f_{ij} \leq W_i * z_i, \forall i \in V_s$ (7)
- $\sum_{i \in V_2 \setminus \{F \cup F'\}, j \in F'} x_{ij} + r_2(F') * y(F : V_1 \setminus F) \geq 2 * r_2(F'), \forall F \subseteq V_s, \forall F' \subseteq V_c$ (8)
- $x_{ij} \in \{0, 1\}, \forall [i, j] \in \gamma(V_c)$ (9)
- $x_{ij} \in \{0, 1, 2\}, \forall [i, j] \in E(V_s : V_c)$ (10)
- $y_{ij} \in \{0, 1\}, \forall [i, j] \in \gamma(V_s)$ (11)
- $y_{ij} \in \{0, 1, 2\}, \forall [i, j] \in \delta(\{0\})$ (12)
- $z_i \in \{0, 1\}, \forall i \in V_s$ (13)
- $f_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i \in V_s, \forall j \in V_c$ (14)

2.6 Définition des contraintes

- (1) : Impose qu'un Hub appartienne à une route primaire si elle est ouverte.
- (2) : Permet de faire respecter la capacité du véhicule dans le premier échelon et d'éviter les sous-tours car au moins $r_1(F)$ véhicules sont nécessaires pour desservir les Hubs de F , et chacun d'eux nécessite une arête pour entrer dans F et une autre pour en sortir.
- (3) : Signifie qu'un client ne doit être visité qu'une seule fois. Permet également de renforcer la continuité des trajets du deuxième échelon.
- (4) : Même chose que la contrainte (2) mais concernant les trajets du deuxième échelon.
- (5) et (6) : Interdit les trajets entre 2 Hubs dans le deuxième échelon.
- (7) : Modélise les restrictions liées à la capacité des Hubs et évite qu'un client ne soit assigné à un Hub fermé.
- (8) : Confirme que chaque client doit être connecter au dépôt principal par le biais d'un Hub.
- (9) à (14) : Permet de définir les variables $(x_{ij}, y_{ij}, z_i, f_{ij})$

5

Mise en oeuvre

1 Outils et librairie utilisés

Pour mon projet, j'ai utilisé 2 principaux outils concernant la mise en œuvre. Le premier est un logiciel de résolution de problèmes linéaires, ou des problèmes complexes, ce logiciel est nommé **GLPK**. Le deuxième est un logiciel d'optimisation et de simulation de chaîne d'approvisionnement, nommé **AnyLogistix**.

En ce qui concerne **GLPK**, je ne l'ai pas beaucoup utilisé, car les heuristiques à modéliser étaient trop complexes. C'est pourquoi, je me suis consacré essentiellement à l'étude du logiciel de simulation parce qu'avec mes encadrants, nous avons convenu que c'était plus important que de faire fonctionner mon modèle sous **GLPK**.

2 Éléments d'implémentation, choix techniques

J'ai réalisé différents documents pour installer et utiliser les outils avec lesquels j'ai avancé qui sont :

- Un document sur l'installation et le fonctionnement de **AnyLogistix** et **GLPK**.
- Un cahier de tests qui reprend tous les tests que j'ai pu réaliser sur le logiciel **AnyLogistix**.
- Des exemples qui peuvent être repris concernant les tests effectués grâce à un fichier Excel ou un fichier de type base de données.

Les 2 documents sont disponibles en annexe de ce rapport.

Pour le choix technique du logiciel, tout est détaillé dans la partie "État de l'art" **2**(Chapitre 3)de mon rapport.

6

Bilan et conclusion

1 Bilan du semestre 9

Nous avons commencé cette première partie de **PRD** par décrire le problème auquel nous sommes confrontés en organisant des réunions pour en discuter. J'ai continué en lisant des documents sur les problèmes rencontrés dans des cas similaires au mien ou au contraire complètement différents, pour avoir une vision globale de ce que je pourrais utiliser ou non. J'ai également avec mes encadrants créés un diagramme de Gantt pour planifier les tâches que je devais réaliser.

Après tout ça, j'ai pu débiter mon rapport de **PRD** et plus précisément mon état de l'art sur les différents problèmes qui me serviront pour ma réalisation, ainsi que sur les bases afin de comprendre d'où viennent ces problèmes et pourquoi les utiliser pour résoudre mon projet. J'ai continué mon rapport, avec l'élaboration d'un diagramme de Gantt pour indiquer toutes mes tâches réalisées et avec le commencement de l'analyse mathématique de mon sujet.

Durant ce semestre, j'ai rencontré de nombreuses difficultés, surtout sur la compréhension détaillée de mon sujet, mais grâce aux réunions avec mes encadrants, j'ai pu comprendre. L'étude de document m'a pris beaucoup plus de temps que prévu de part le nombre d'articles à lire, mais également à cause des nouveaux articles à consulter au fur et à mesure du projet.

L'élaboration de mes spécifications fonctionnelles et non-fonctionnelles m'a permis de mieux comprendre mon projet malgré la mauvaise interprétation des consignes du cahier des spécifications.

Pour conclure, j'ai consacré beaucoup trop de temps à la lecture de documents ce qui m'a coûté le décalage dans mon planning au niveau de la rédaction de mon rapport. Je vais donc finir mon état de l'art et au prochain semestre, je continuerai sur l'analyse des heuristiques qui existe déjà pour l'adapter à mon sujet.

2 Bilan du semestre 10

J'ai commencé un peu en retard ma partie de modélisation des heuristiques à cause de l'état de l'art qui a décalé mon planning. Avec mes encadrants, nous nous sommes rendu compte que le modèle que nous voulions modéliser à la base était plus complexe que prévu pour le faire sur **GLPK**, et que nous n'aurions pas assez de temps pour le faire. C'est pourquoi, nous avons décidé de passer sur la 2^{ème} partie de mon sujet, qui est la simulation. Ce choix a été fait, car il fallait

quelqu'un qui se penche sur le logiciel pour comprendre comment il fonctionnait, le prendre en main, et pouvoir le réutiliser plus facilement.

À la suite de ces événements, mon planning a complètement changé pour laisser de côté la partie modélisation et m'orienter sur la partie simulation. Ce qui fait que je me suis concentré sur l'étude du logiciel **AnyLogistix** et son utilisation.

3 Bilan sur la qualité

Comme beaucoup de mon temps a été concentré sur mon rapport, je juge la qualité de mon rapport comme correct. De plus, la partie "État de l'art" est également une partie importante de mon rapport, car elle permettra au futur étudiant de récupérer mon sujet plus facilement. Elle est aussi utile pour l'aspect modélisation du problème qui sera à compléter pour les générations futures.

Ensuite, la qualité des documents que j'ai créés pour l'installation et l'utilisation des logiciels est de bonne qualité, car ils permettent de reprendre aisément le travail que j'ai réalisé et de bien configurer et comprendre l'environnement sur lequel j'ai pu travailler.

Enfin, les attentes de mes encadrants ont été satisfaites en général par rapport aux différentes réunions que nous avons eu, je considère donc que la qualité de mon projet est bonne.

4 Bilan auto-critique

Grâce à ce projet, j'ai pu développer mes compétences en termes de gestion de projet avec la mise en place et l'utilisation d'un Trello et d'un planning pour répartir les tâches à faire dans le temps. J'ai également pu améliorer mon autonomie, même si mes encadrants étaient présents en cas de problèmes, j'ai quand même su me débrouiller seul en général pour avancer le plus possible sur mon projet. De plus, les nombreux échanges avec mes encadrants ont permis de mener à bien mon projet et de s'adapter en cas de besoin.

Annexes

A

Planification, gestion de projet

1 Evolution du projet

La figure A.1, nous montre le diagramme prévisionnel réalisé au début de mon projet. Dans celui-ci, nous retrouvons une fluidité entre toutes les tâches à effectuer.

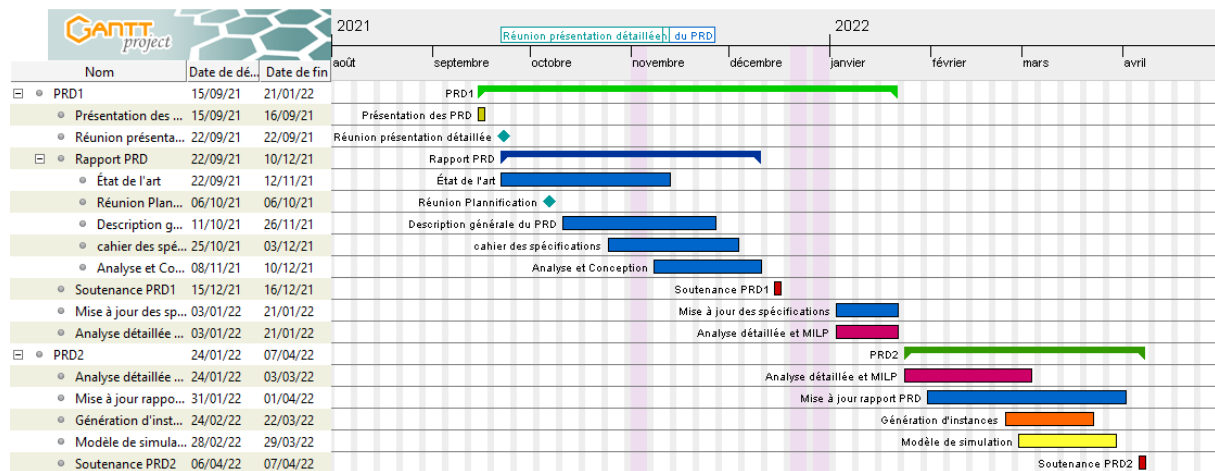


Figure A.1 – Le diagramme de Gantt Initial

Les premiers changements sont apparus au niveau de la rédaction du rapport. En effet, j'ai mis plus de temps que prévu à faire mon état de l'art, la description de mon sujet, le cahier des spécifications et l'analyse de mon modèle. Ce qui a complètement dérégulé la continuité de mon planning.

De plus, la partie état de l'art m'a pris beaucoup plus de temps que planifier, car au fur et à mesure que j'avancais dans mes lectures de documents, mes encadrants en ajoutant des nouveaux à lire.

En outre, il a fallu que je me familiarise avec l'utilisation de LaTeX qui m'a pris du temps surtout en ce qui concerne les contraintes et les variables à représenter.

En parallèle avec les tâches précédentes, j'ai eu de nombreuses réunions que ce soit sur l'avancement de projet ou sur le suivi, mais également sur l'analyse concernant mon état de l'art qui n'était pas prévu de la même manière au début.

Cependant, de part le retard que j'ai pris sur la première partie, il se peut que je rencontre quelques problèmes de suivi de planning tout le long de mon PRD2.

Nous retrouvons mon diagramme de Gantt correspondant aux tâches effectuées avant la soutenance de mon PRD1 et les tâches à réaliser lors de mon PRD2, sur la figure ci-dessous.

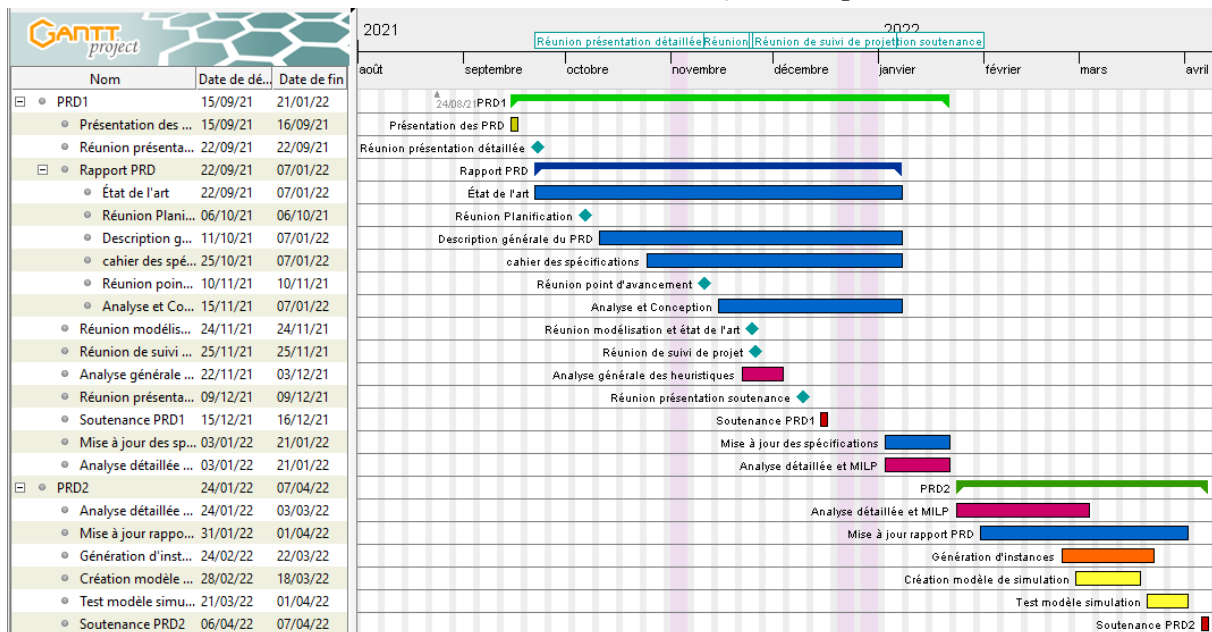


Figure A.2 – Le diagramme de Gantt avant la soutenance du PRD1

À la fin du PRD1, nous avons créé un nouveau diagramme prévisionnel pour la deuxième partie, que nous retrouvons ci-dessous :

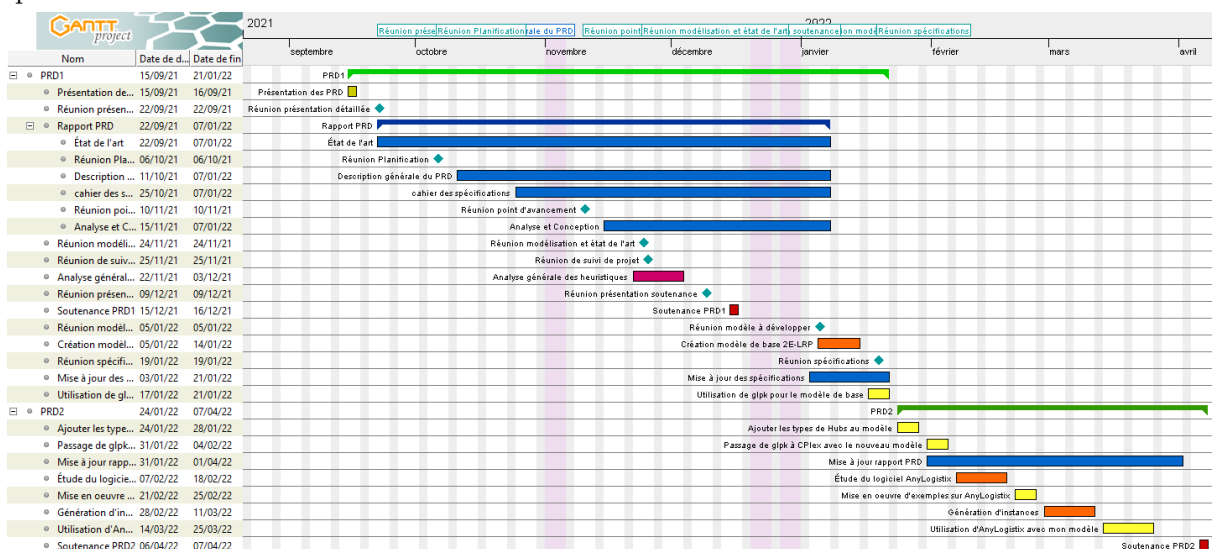


Figure A.3 – Le diagramme de Gantt prévisionnel de la deuxième partie

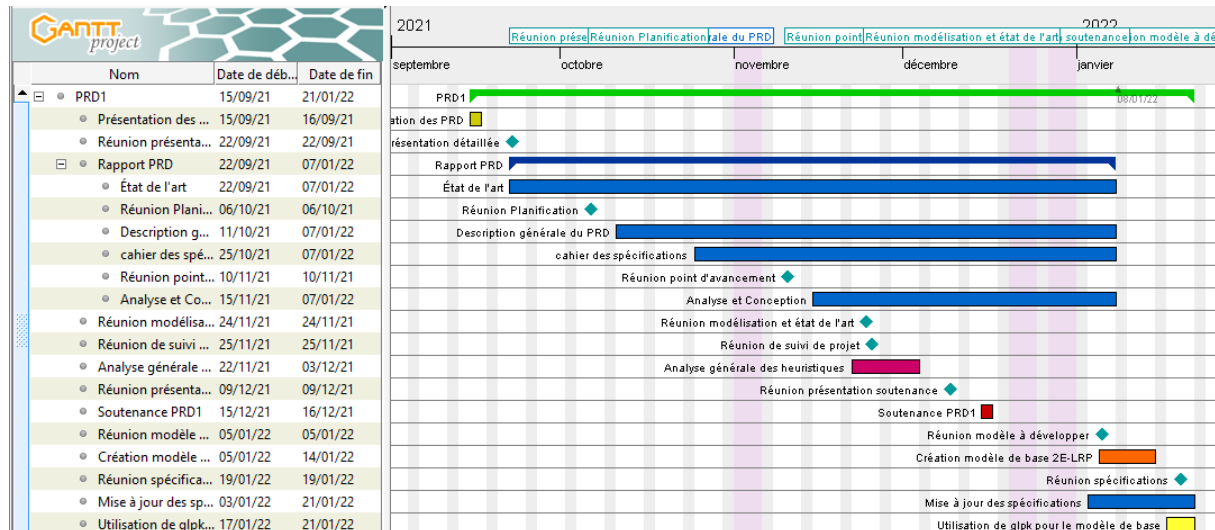


Figure A.4 – La partie 1 du diagramme de Gantt Final

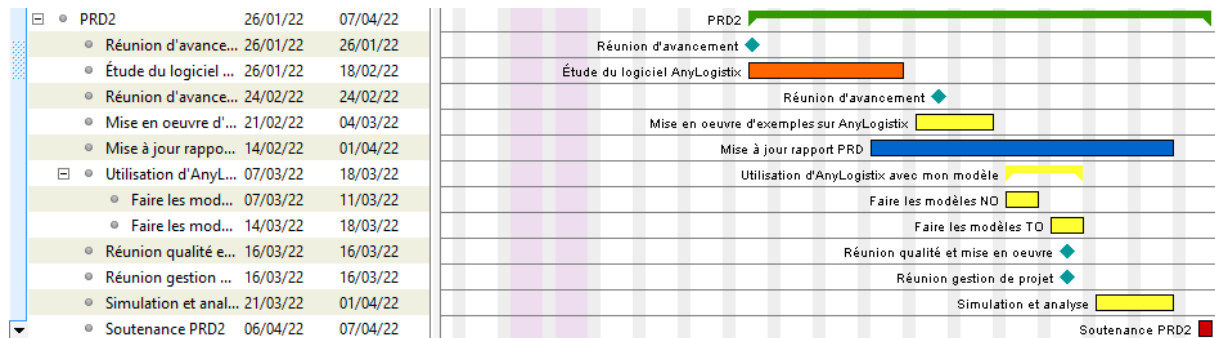


Figure A.5 – La partie 2 du diagramme de Gantt Final

2 Description des tâches

Nous retrouvons ci-dessous les tâches prévus et réalisé lors de mon PRD1.

Tâche 1 : Présentation des PRD

- Date de début : 15/09/2021
- Date de fin : 16/09/2021
- Durée : 2 jours
- Description : Grande réunion prévu pour présenter les PRD.

Tâche 2 : Réunion présentation détaillée

- Date de réunion : 22/09/2021
- Durée : 1 jour
- Description : Présentation détaillée du sujet choisi.

Tâche 3 : État de l'art

- Date de début : 22/09/2021
- Date de fin : 07/01/2022
- Durée : 63 jours
- Description : Étude et lecture de document en lien avec le sujet. Commencement de la partie état de l'art du rapport.

Tâche 4 : Réunion Planification

- Date de réunion : 06/10/2021
- Durée : 1 jour
- Description : Réunion permettant d'éclaircir et d'ordonner les points qui seront abordés.

Tâche 5 : Description générale du PRD

- Date de début : 11/10/2021
- Date de fin : 07/01/2022
- Durée : 50 jours
- Description : Continuation du rapport en abordant la partie description générale du PRD.

Tâche 6 : Cahier des spécifications

- Date de début : 25/10/2021
- Date de fin : 07/01/2022
- Durée : 40 jours
- Description : Continuation du rapport en abordant la partie cahier des spécifications.

Tâche 7 : Réunion point d'avancement

- Date de réunion : 10/11/2021
- Durée : 1 jour
- Description : Réunion permettant de faire un point sur l'avancement du projet.

Tâche 8 : Analyse et conception

- Date de début : 08/11/2021
- Date de fin : 07/01/2022
- Durée : 30 jours
- Description : Analyse et conception des hypothèses sur les solutions envisageables.

Tâche 9 : Réunion modélisation et état de l'art

- Date de réunion : 24/11/2021
- Durée : 1 jour
- Description : Réunion permettant de commencer la modélisation des heuristiques utilisées dans l'état de l'art.

Tâche 10 : Réunion suivi de projet

- Date de réunion : 25/11/2021
- Durée : 1 jour
- Description : Réunion permettant de faire le point sur le suivi du projet.

Tâche 11 : Analyse générale des heuristiques

- Date de début : 22/11/2021
- Date de fin : 03/12/2021
- Durée : 10 jours
- Description : Analyse des heuristiques utiles pour l'état de l'art.

Tâche 12 : Réunion présentation soutenance

- Date de réunion : 09/12/2021
- Durée : 1 jour
- Description : Réunion avec mon encadrant pour préparer la soutenance.

Tâche 13 : Soutenance PRD1

- Date de début : 15/12/2021
- Date de fin : 16/12/2021
- Durée : 2 jours
- Description : Soutenance pour le PRD1.

Tâche 14 : Réunion modèle à développer

- Date de réunion : 05/01/2021
- Durée : 1 jour
- Description : Réunion pour décider du modèle à développer.

Tâche 15 : Création du modèle de base LRP-2E

- Date de début : 5/01/2021
- Date de fin : 14/01/2021
- Durée : 8 jours
- Description : Choix du modèle à suivre pour créer l'heuristique de mon sujet.

Tâche 16 : Réunion spécifications

- Date de réunion : 19/01/2022
- Durée : 1 jour
- Description : Réunion dans le but de faire un retour sur les spécifications de nos rapports de PRD.

Tâche 17 : Mise à jour des spécifications

- Date de début : 03/01/2022
- Date de fin : 21/01/2022
- Durée : 15 jours
- Description : Reprise des éléments de spécification.

Tâche 18 : Utilisation de GLPK pour le modèle de base

- Date de début : 17/01/2022
- Date de fin : 21/01/2022
- Durée : 5 jours
- Description : Faire fonctionner le modèle de base du 2E-LRP dans GLPK.

Tâche 19 : Réunion d'avancement

- Date de réunion : 26/01/2022
- Durée : 1 jour
- Description : Réunion d'avancement pour faire le point sur mon projet.

Tâche 20 : Étude du logiciel AnyLogistix

- Date de début : 26/01/2022
- Date de fin : 18/02/2022
- Durée : 18 jours
- Description : Étude du logiciel pour comprendre comment il fonctionne dans le but de l'utiliser correctement.

Tâche 21 : Réunion spécifications

- Date de réunion : 24/02/2022
- Durée : 1 jour
- Description : Réunion d'avancement pour faire le point sur mon projet.

Tâche 22 : Mise en oeuvre d'exemples sur AnyLogistix

- Date de début : 21/02/2022
- Date de fin : 04/03/2022
- Durée : 10 jours
- Description : Cette tâche a pour objectif de tester quelques exemples pour acquérir un peu d'expérience sur l'utilisation du logiciel.

Tâche 23 : Mise à jour du rapport du PRD

- Date de début : 31/01/2022
- Date de fin : 01/04/2022
- Durée : 45 jours
- Description : Mise à jour et finition de toutes les parties du rapport à rendre.

Tâche 24 : Utilisation d'AnyLogisitx avec mon modèle

- Date de début : 07/03/2022
- Date de fin : 18/03/2022
- Durée : 10 jours
- Description : Manipuler le logiciel avec mon modèle pour exploiter les résultats pour les modèles NO et les modèles TO.

Tâche 25 : Réunion qualité et mise en œuvre

- Date de réunion : 16/03/2022
- Durée : 1 jour
- Description : Réunion concernant la qualité et la mise en œuvre de mon projet.

Tâche 26 : Réunion gestion de projet

- Date de réunion : 16/03/2022
- Durée : 1 jour
- Description : Réunion pour faire le point sur la gestion de mon projet.

Tâche 27 : Simulation et analyse

- Date de début : 21/03/2022
- Date de fin : 01/04/2022
- Durée : 10 jours
- Description : Analyse des résultats et simulation dessus.

Tâche 28 : Soutenance PRD2

- Date de début : 06/04/2022
- Date de fin : 07/04/2022
- Durée : 2 jours
- Description : Soutenance pour le PRD2.

B

Cahier de Spécifications

1 Spécifications Fonctionnelles

1.1 Objectif du modèle

L'objectif du modèle est de minimiser les coûts de transports en positionnant correctement les Hubs, par rapport aux trajets des producteurs. Cela correspond à résoudre un problème de routage de localisation à 2 échelons (**LRP-2E**) en adaptant avec les caractéristiques de mon sujet.

1.2 Données du système

Pour que mon modèle puisse fonctionner normalement, il a besoin de données et de variables en entrée qui seront fournies par les encadrants ou l'association sous forme d'instances.

Pour **CPLEX**, les données d'entrées doivent être formatées sous un format .data, qui correspond à mettre les données sous forme de tableau et/ou de matrices, ce qui permet au logiciel de comprendre comment il doit les utiliser.

En sortie de ma modélisation, nous aurons les Hubs utilisés sous forme de booléen pour indiquer s'ils sont ouverts ou fermés parmi une liste de Hubs possible. Les plus courtes distances entre les Hubs et les producteurs seront sous forme d'un tableau comme pour les plus courts chemins entre les Hubs et les clients.

Étant donné que les résultats de ma modélisation sont des tableaux et des listes, une interprétation manuelle et requise pour comprendre les résultats.

1.3 Contraintes du modèle

Les contraintes de ma modélisation se feront sous forme d'équations mathématiques, il faudra donc traduire les contraintes rencontrées sous cette forme.

2 Spécifications non fonctionnelles

2.1 Contraintes de développement et conception

Pour cette section, mon système se contraint à l'utilisation de **CPLEX**. Ce logiciel peut être codé dans différents langages comme en C++, python, etc. Dans mon cas, étant plus à l'aise avec le C++ et n'ayant pas de contrainte particulière dessus, j'ai décidé de le choisir.

2.2 Contraintes de fonctionnement et d'exploitation

Pour mon sujet, le système d'utilisation n'a pas vraiment d'importance à part qu'il doit pouvoir supporter le logiciel **CPLEX**. Cela peut donc être sur Windows, Mac ou Linux. Seuls les producteurs et mes encadrants utiliseront ma conception, et son utilisation ne dépendra que du changement des données effectuées.

Pour résumer, l'utilisation de mon produit ne fera que la première fois que l'utilisateur s'en servira pour calculer tous les chemins qu'il souhaite, et seulement si ces données d'entrées changent, il devra recalculer les meilleures routes.

2.2.1 Performances

Pour la performance, il faut pouvoir faire tourner des logiciels plutôt basiques, mais coûteux qui demandent de bonnes ressources. Il faut donc du matériel qui puissent supporter les calculs des heuristiques configurées.

2.2.2 Capacités

Comme il s'agit d'une modélisation plutôt coûteuse, l'utilisation sera limitée à une personne à la fois, mais elle n'est pas relié à Internet, soit complètement en local ce qui veut dire que plusieurs personnes pourront l'utiliser tant qu'ils auront le matériel adéquat.

2.2.3 Contrôlabilité

L'ajout d'un système de suivi de l'avancement des résultats de l'heuristique sera possible à intégrer, pour que l'utilisateur puisse contrôler le bon déroulement de mon programme.

2.2.4 Sécurité

Comme je l'ai dit précédemment, le système n'est pas connecté à Internet ce qui limite énormément les problèmes de sécurité. Dans ce cas, un anti-virus basique sera la meilleure solution pour être paré à toutes éventualités.

3 Maintenance et évolution du système

Ce système a énormément de possibilité d'évolution comme l'ajout d'une interface pour obtenir une représentation visuelle de la modélisation ou de la simulation. Ou encore, la possibilité de fusionner les heuristiques de mon sujet à ceux de la mutualisation (cf sujet de **PRD** de Jérémy Sourd).



Cahier du développeur

1 Introduction

Dans ce document, nous retrouverons tous les éléments et les règles importantes pour la réalisation de mon projet.

2 Convention de développement

N'ayant pas utilisé le logiciel **CPLEX** comme c'était prévu, je n'ai pas eu de code à produire et donc pas de convention de nommage à appliquer. Pour installer et reprendre mon sujet correctement, il est important de bien suivre les instructions dans les documents d'installations et d'utilisations présents dans les annexes.

3 Diagrammes architecturaux et UML

J'ai réalisé un diagramme de composant pour expliquer le fonctionnement du logiciel que j'ai utilisé.

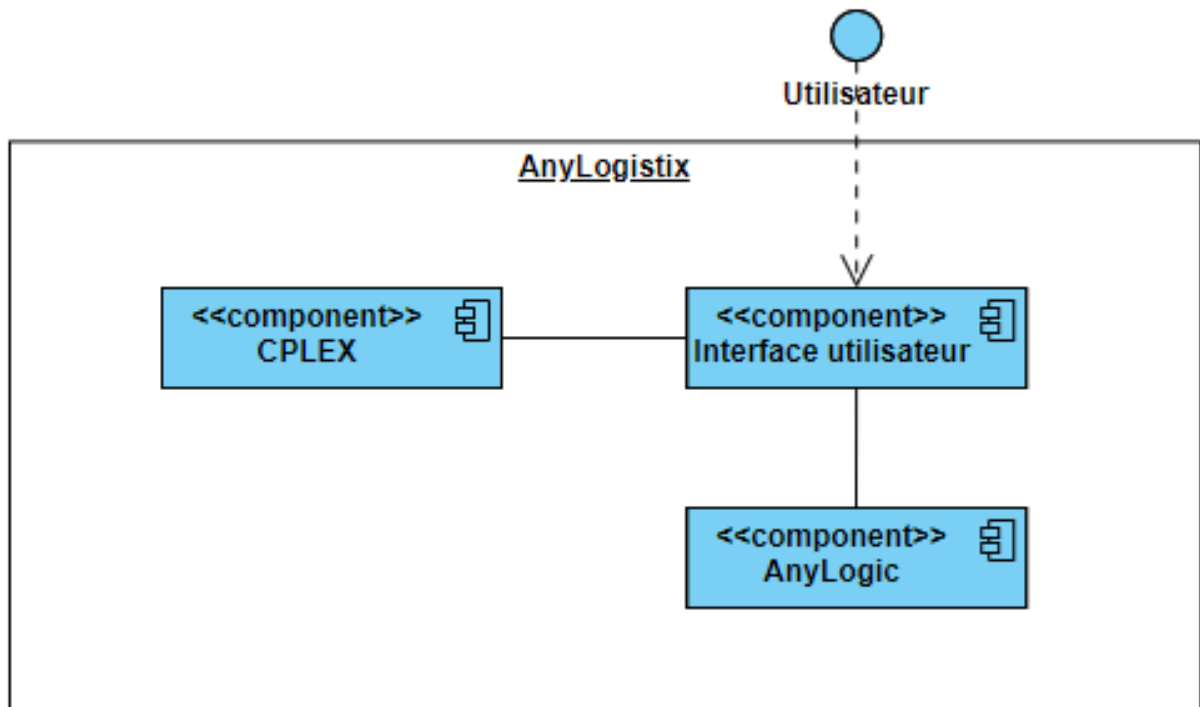


Figure C.1 – *Diagramme de composant du logiciel AnyLogistix*

Comme nous pouvons voir sur l'image ci-dessus, le logiciel est coupé en 3 parties différentes.

La première partie correspond à l'interface utilisateur du logiciel. Cette partie prend en compte tous les boutons et les fonctionnalités possibles du logiciel dont l'utilisateur a directement accès.

La deuxième partie est en lien avec le logiciel **CPLEX** qui permet de réaliser les diverses optimisations de réseaux pour trouver les chemins les plus courts en prenant en compte toutes les contraintes.

La troisième partie correspond à l'utilisation du logiciel AnyLogic qui permet de réaliser des simulations et des visualisations. Dans le logiciel **AnyLogistix**, AnyLogic ne sert que pour la partie simulation et donc n'utilise pas tous ses éléments du logiciel de base.

4 Descriptions détaillées de données exploitées

Étant donné que je n'avais pas de relation avec le client final, qui est l'association, je n'ai pas pu avoir de données pour effectuer des tests. Cependant, j'ai utilisé la carte du monde fournie par **AnyLogistix** pour construire mes multiples tests.

Pour rester cohérent avec mon sujet, j'ai décidé de prendre des lieux qui étaient proches de tours avec un rayon maximum de 100 km, pour rester dans l'aspect circuit court. J'ai également fait en sorte que les clients soient positionnée à des endroits cohérents en fonction de la carte.

D

Document d'installation

Dans ce document, nous allons voir comment installer correctement tous les éléments utiles pour continuer mon **PRD**.

1 GLPK

Même si je n'ai pas eu le temps de rentrer dans les détails de la partie heuristique, je vais tout de même expliquer comment installer le solveur **GLPK**. Dans mon cas, il s'agit d'un solveur basique utilisé pour de petite instance dans le cadre de tests.

Pour ce faire, il faut tout d'abord télécharger l'archive de la version souhaitée sur le site "gnu.org". Ensuite, il faut extraire et déplacer le dossier vers votre espace de travail.

Il reste des étapes à faire pour installer **GLPK** mais pour ma part, mon encadrant m'a donné une version sous forme d'exécutable pour gagner du temps sur l'installation.

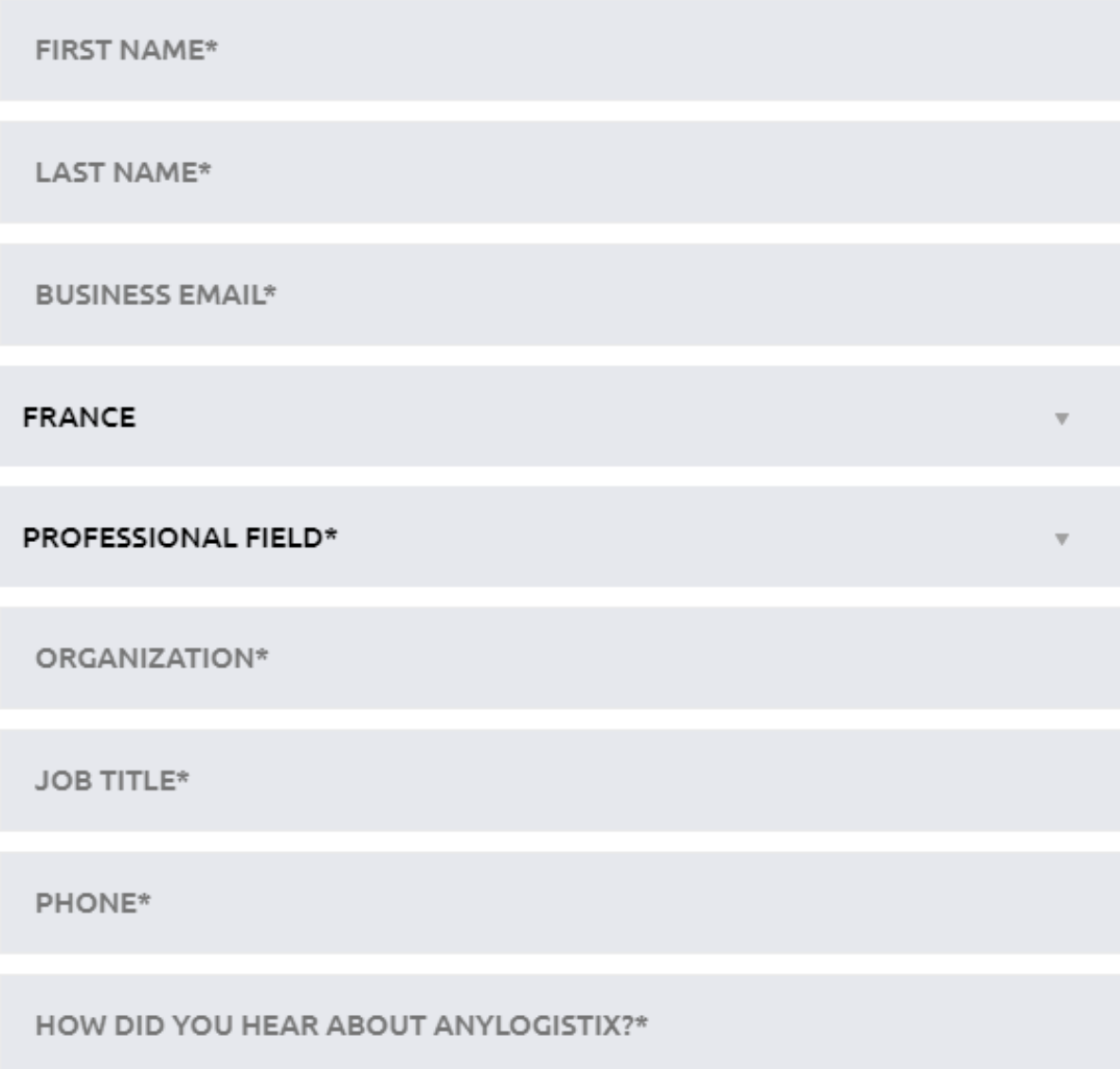
2 AnyLogistix

AnyLogistix est un logiciel d'optimisation de chaîne d'approvisionnement. Il prend en compte de nombreux aspects comme le design des réseaux sur une carte mondiale réelle, la gestion des inventaires, la planification des transports, l'évaluation des risques liés à la chaîne et la gestion de la capacité de production.

Pour le logiciel **AnyLogistix**, il existe 2 moyens de l'obtenir. Soit grâce à la version académique, celle que j'ai utilisée, soit par la version professionnelle. Dans le cas de la version professionnelle, le logiciel est payant, alors qu'avec la version académique, le logiciel est gratuit mais comporte moins d'éléments que la version payante.

2.1 Version académique

Pour installer la version académique, il suffit de se rendre sur le site "anylogistix.com", dans la section "download". Une fois dans cette section, il est possible de choisir entre l'une des deux versions, pour continuer nous choisirons la version académique. Le choix étant effectué, il faut maintenant remplir un formulaire pour valider l'appartenance à une académie.



The image shows a vertical registration form with the following fields: FIRST NAME*, LAST NAME*, BUSINESS EMAIL*, a country dropdown menu currently showing FRANCE, PROFESSIONAL FIELD* (with a dropdown arrow), ORGANIZATION*, JOB TITLE*, PHONE*, and HOW DID YOU HEAR ABOUT ANYLOGISTIX?*. Each field is contained within a light gray rectangular box.

Figure D.1 – *Formulaire académique d'inscription sur AnyLogistix*

Le téléchargement du fichier ".exe" se lance après avoir rempli le formulaire. Enfin, il suffit de suivre les instructions du fichier ".exe" pour terminer l'installation du logiciel.

2.2 Version professionnelle

Pour cette version, il faut se rendre sur la page "download" du site "anylogistix.com" et choisir la version professionnelle. Il est possible de télécharger directement le logiciel, mais comme il est payant il faudra entrer une clé indiquant que vous possédez la licence en question.

Pour acheter la licence il faut se rendre sur la section "purchase" du même site. Une fois dedans, 3 opportunités sont possibles par rapport à l'utilisation que vous souhaitez en faire. Les 3 possibilités sont représentées sur l'image ci-dessous :

PURCHASE ANYLOGISTIX STUDIO EDITION

Select your professional field:

COMMERCIAL — for non-consulting commercial companies and government organizations	CONSULTING — for commercial organizations engaged in consulting services	ACADEMIC — for research in academic institutions
---	--	---

Figure D.2 – *Les 3 opportunités d'utilisation*

Une fois le choix effectué, il faut remplir un formulaire permettant de vérifier et d'être contacté par le support pour passer à l'achat.

Subscription

\$20,000/year

The price does not include VAT, sales tax, withholding tax or any other tax(es) or fee(s) which may be applicable in the country of purchase.

FIRST NAME*

LAST NAME*

BUSINESS EMAIL*

FRANCE ▼

ORGANIZATION*

JOB TITLE*

PHONE*

NUMBER OF LICENSES*

NUMBER OF YEARS*

COMMENT

get a quote

By continuing, you agree to our [Privacy Policy](#).

Figure D.3 – Formulaire professionnel d'inscription sur AnyLogistix

Une fois que tout cela sera fait, il restera plus qu'à entrer la clé de la licence sur le logiciel et il

sera fonctionnel.

E

Document d'utilisation

Comme il ne s'agit pas d'un logiciel que j'ai créé, j'ai dû me former à son utilisation. Pour cela, j'ai utilisé leur site officiel pour récupérer des informations, puis j'ai suivi quelques tutoriels qu'ils mettaient à disposition. Grâce à ces tutoriels, j'ai mieux compris comment utiliser le logiciel.

C'est pourquoi dans ce document, nous verrons comment utiliser le logiciel pour réaliser des optimisations et des simulations en rapport avec mon sujet.

1 Détails du logiciel

Dans ce logiciel, nous retrouvons 4 grandes parties différentes :

- GFA (GreenField Analysis)
- NO (Network Optimization)
- TO (Transportation Optimization)
- SIM (Simulation)

1.1 GFA

GFA sert à optimiser le nombre et l'emplacement des dépôts en fonction des paramètres suivants :

- Localisation des clients et des dépôts
- Tous les produits
- Respect des demandes des clients

Dans la même partie, il existe aussi le "GFA with roads". Il s'agit de la même optimisation mais en prenant en compte les routes réelles et la population des villes, grâce à cela les emplacements des dépôts sont calculées avec plus de précision.

1.2 NO

NO ou optimisation des réseaux permet de fournir les emplacements optimaux pour les installations de distribution ou les Hubs en respectant les contraintes ajoutées par l'utilisateur et les demandes des clients. Il permet de définir les chemins les plus courts ou les plus optimaux par rapport aux contraintes, entre les fournisseurs et les Hubs, les Hubs et les clients.

Il fournit également un flux de produit et possède aussi des options d'approvisionnement.

L'inconvénient de ce modèle est qu'il ne relie pas les clients entre eux, cela veut dire que le Hub passe par tous les clients 1 par 1.

Cependant, l'avantage principale est que le modèle permet de retourner plein d'informations sur les trajets effectués comme l'émission de CO_2 , les coûts de transports, le flux de production, les demandes satisfaites ou non, etc..

Le modèle gère également les politiques d'inventaire et d'approvisionnement avec par exemple des tableaux concernant le stockage des produits ou encore à propos du flux des produits.

1.3 TO

Tout d'abord, l'expérience d'optimisation du transport est utilisée pour optimiser le coût de livraison des produits d'un site aux clients.

Il existe 2 types d'optimisation de transports dans le logiciel **AnyLogistix**. Il y a l'optimisation de transport classique et l'optimisation des capacités des transports. Les objectifs de ces 2 optimisations sont les suivantes :

- trouver la succession optimale de routes par rapport aux nombres de clients
- optimiser les coûts de livraison
- réaliser des diagnostics et des prévisions détaillés, basés non seulement sur des généralisations statistiques mais aussi sur l'interaction des composants de la chaîne d'approvisionnement

Il prend en compte les éléments suivants pour réaliser les objectifs ci-dessus :

- la demande des clients
- la capacité du type de véhicule
- les contraintes fixées par l'utilisateur
- le caractère aléatoire des délais, des temps de chargement

L'avantage de ce modèle est qu'il permet d'optimiser les chemins en partant par le Hub et en revenant par le Hub après avoir visité tous les clients.

Cependant, l'inconvénient principale est qu'il ne permet pas d'ajouter des fournisseurs donc il n'y a qu'un seul échelon avec les Hubs et les clients.

1.4 SIM

La simulation est un des aspects les plus importants du logiciel, car elle permet de reproduire le déroulement d'une livraison en ajoutant si besoin des événements aléatoires pour simuler des potentiels imprévus comme la demande des produits, le temps de procédure d'un produit, la vitesse des véhicules, etc.

Elle possède également plein d'autres objectifs comme par exemple :

- de trouver la quantité exacte de produits en stock
- d'observer la livraison réelle des produits grâce à la carte
- de recueillir des données pour obtenir des statistiques détaillées générées en temps réel
- d'évaluer la meilleure capacité d'inventaire et trouver la meilleure solution en termes de dépenses totales encourues pour éliminer les éventuels investissements redondants

Comme vous pouvez le remarquer, cette partie est très axée sur l'inventaire et gestion des stocks. C'est pourquoi, j'ai décidé de moins l'étudier que les autres parties, mais cela reste une partie très importante du logiciel, car elle est utilisée quand le système est considéré comme trop complexe pour être analysé par des méthodes mathématiques.

2 Tutoriels

Dans cette partie, je vais vous expliquer comment lancer un modèle existant ainsi que comment créer un modèle sur le logiciel **AnyLogistix**.

Pour les tutoriels, nous nous focaliserons sur la partie NO pour les explications, mais elles fonctionnent pour n'importe quelle partie.

2.1 Récupérer et utiliser un modèle existant

En lançant le logiciel, nous obtenons la page suivante qui nous permet entre autres de générer des exemples déjà créés venant du logiciel, de créer son scénario, de consulter les tutoriels, les vidéos et les cas d'études.

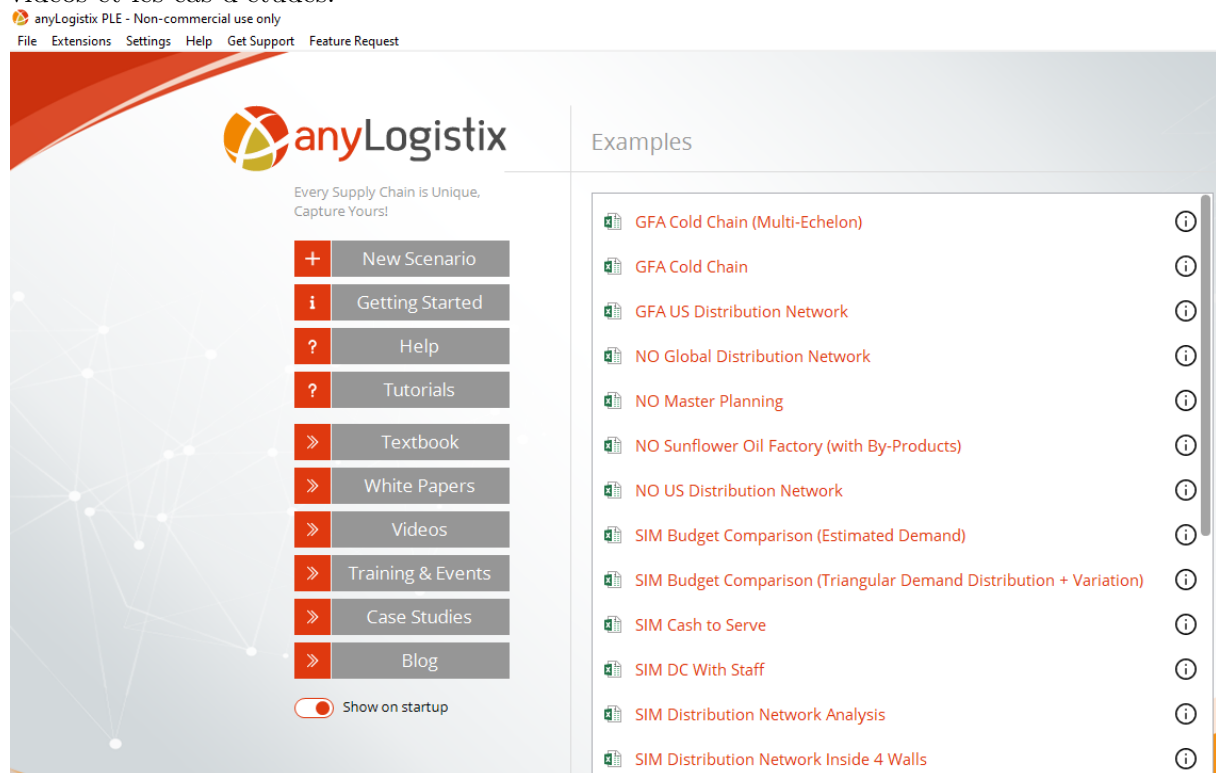


Figure E.1 – Écran de base d'AnyLogistix

Pour utiliser des scénarios déjà existants, il faut qu'il existe un fichier ".xlsx" qui correspond à un format excel ou un fichier ".db" correspondant à une base de données.

Pour l'importation d'un fichier excel il faut suivre les instructions de l'image suivante en donnant l'emplacement du fichier, le nom que l'on veut donner au scénarios et des options avancées à compléter si on veut choisir seulement certaines tables du fichier :

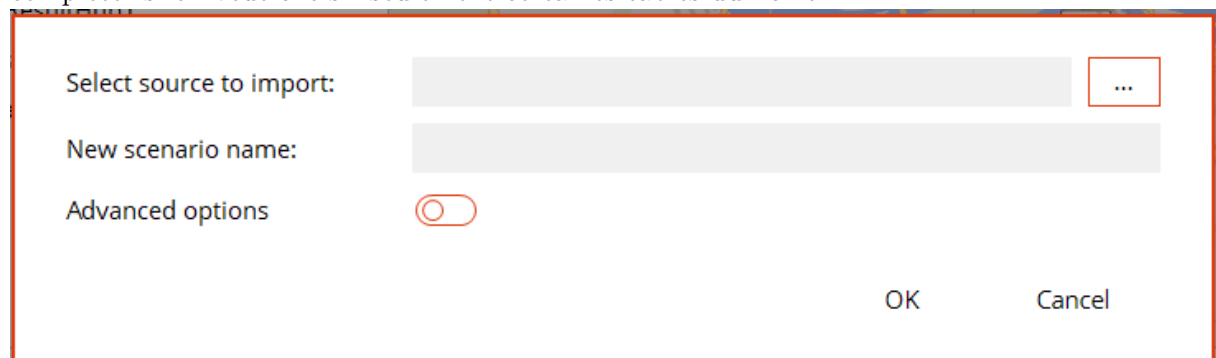


Figure E.2 – Importation pour les fichiers Excel

Pour l'importation d'une base de données, il faut renseigner plus d'informations qu'avec un fichier excel. Il faut le type, le chemin, le nom, le login et le mot de passe de la base de données, ainsi que le nom du scénario comme indique l'image ci-dessous :

Select source to import:

Database: Custom

DB type: sqlite

DB address: C:\Users\coren\anyLogistixPLE\projects\New_project.db

DB name:

DB login:

DB password:

Scenario(s) Refresh the list and select scenario. Refresh List

New scenario name:

Advanced options ☐

OK Cancel

Figure E.3 – Importation pour les fichiers base de données

Comme pour l'importation par excel, il est possible d'avoir des options avancées pour la sélection de quelques tables seulement.

Une fois l'importation effectuée, nous nous retrouvons face au logiciel :

#	Name	Type	Location	Inclusion Type	Icon
1	Customer	Customer	Customer locat	Include	
2	Customer 2	Customer	Customer 2 locat	Include	
3	Customer 3	Customer	Customer 3 locat	Include	
4	Customer 4	Customer	Customer 4 locat	Include	
5	Customer 5	Customer	Customer 5 locat	Include	

Figure E.4 – Base du logiciel

Pour faciliter la compréhension, j'ai décidé de le diviser en 3 parties différentes. Les 3 parties sont évidemment liées les unes aux autres. La première correspond aux quatre parties que l'on retrouve dans le logiciel :

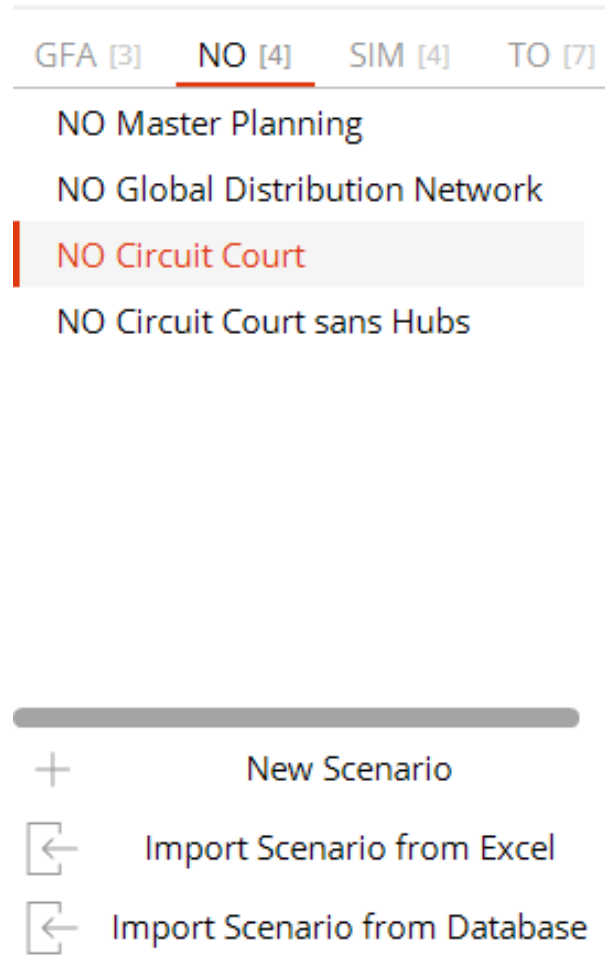


Figure E.5 – Les 4 parties du logiciel

Cette partie est utile pour sélectionner, créer ou importer un scénario GFA, NO, TO ou SIM. Elle sert principalement à générer les scénarios et à naviguer entre eux.

La deuxième partie est un peu plus complexe car elle regroupe tous les paramètres qu'il est possible de modifier dans le scénario :

Basic

All

In use [15]

Add

Remove

Generate...

Assets Constraints [1]

BOM

CO2 from Facilities

CO2 from Processing

Custom Constraints

Customers [6]

DCs and Factories [2]

#	Name	Type	Location	Inclusion Type	Icon
	<div>Filter</div>	<div>Filter</div>	<div>Filter</div>	<div>Filter</div>	<div>Filter</div>
1	Customer	Customer	Customer locati	Include	
2	Customer 2	Customer	Customer 2 locat	Include	
3	Customer 3	Customer	Customer 3 locat	Include	
4	Customer 4	Customer	Customer 4 locat	Include	
5	Customer 5	Customer	Customer 5 locat	Include	

Figure E.6 – Les paramètres des parties

Cette partie permet donc de configurer le scénario en lui apportant des paramètres variants en fonction du type de scénario. En effet, quelques paramètres sont générales donc appartiennent à tous les types mais certains paramètres ne sont disponibles que dans un ou deux types particuliers.

Par exemple, nous retrouvons la possibilité de modifier le type de dépense des Hubs, nommé "Facility Expenses", seulement dans les parties NO et SIM. Le type de dépense des Hubs correspond aux coûts liés à l'ouverture et la fermeture des Hubs, mais aussi au stockage et à d'autres coûts.

Dans les paramètres principaux, nous retrouvons les clients, les Hubs, les fournisseurs, les demandes, les localisations, les coûts que nous voulons prendre en compte ou non, etc..

Une fois que tous les paramètres sont bien configurés, on peut passer à la troisième partie. Cette partie prend en compte les résultats et la carte pour visualiser les chemins les plus courts comme sur l'image ci-dessous :

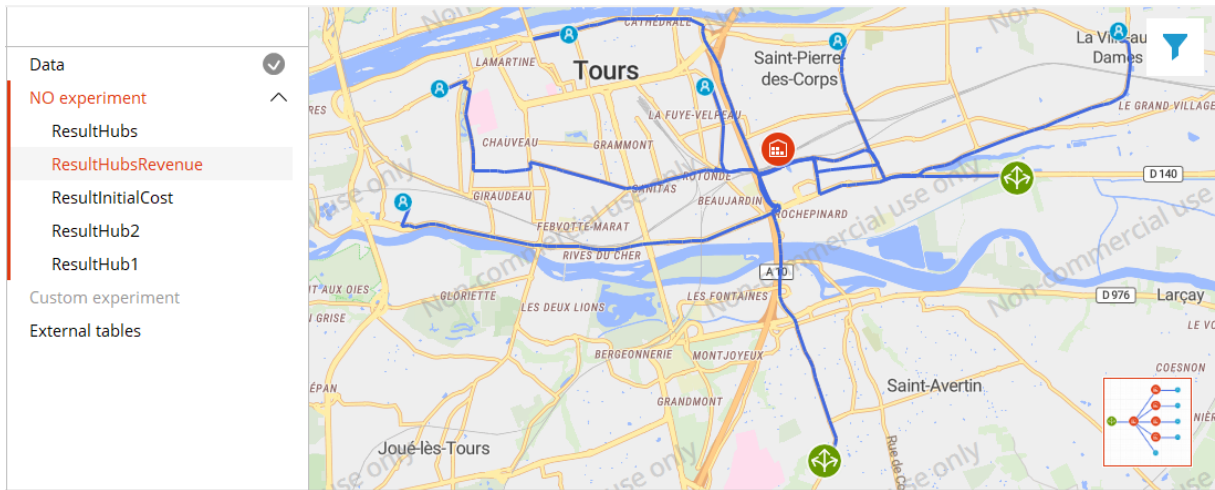


Figure E.7 – Résultat de la carte pour une partie

En sélectionnant les “Data” en haut à gauche de l’image, nous accédons à la configuration que nous avons vu dans la partie 2. En nous positionnant sur “NO experiment”, nous accédons aux configurations liées aux résultats que l’on veut générer :

Figure E.8 – NO expérimentation de base

Nous pouvons modifier la période voulue, la satisfaction de la demande, le nombre de solutions optimaux et d’autres paramètres. Une fois que tout est prêt en appuyant sur le bouton ressemblant à un triangle rouge de côté, le résultat s’affiche en dessous à gauche. En sélectionnant le résultat la partie 2 change pour afficher tous les résultats générés :

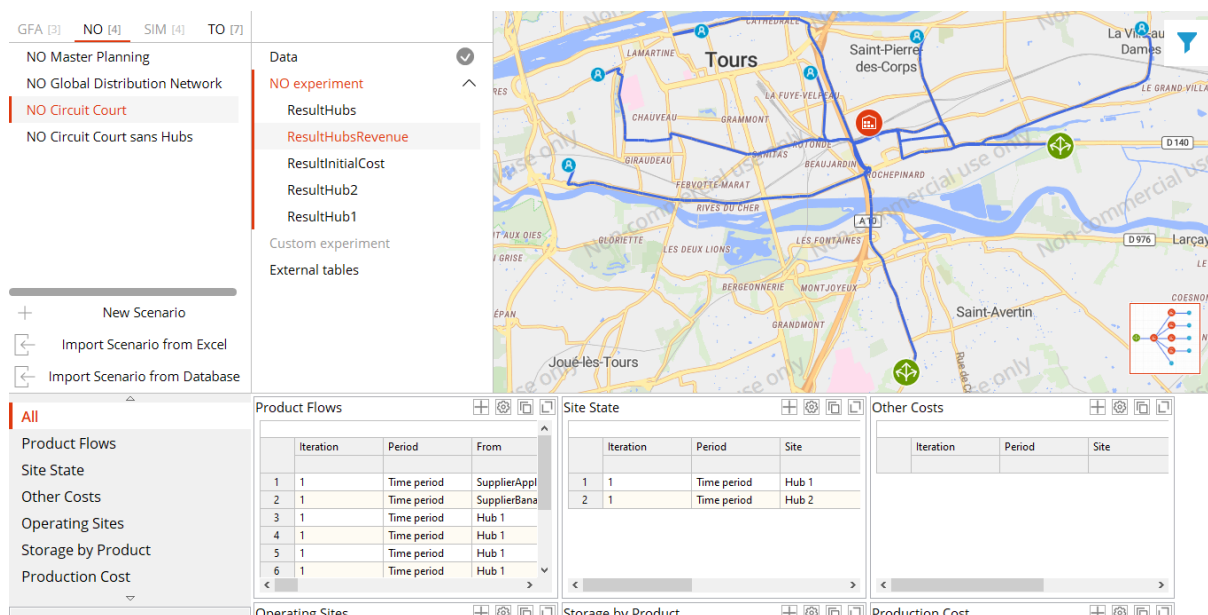


Figure E.9 – Exemple de résultat pour la partie NO

Nous retrouvons bien les tableaux montrant les résultats des différentes parties. Dans la partie 2, il est possible de comparer des tableaux entre eux. Dans la partie 3, il est également possible d'ajouter des tables externes pour compléter la base de données.

2.2 Création d'un nouveau scénario

Dans cette partie, nous allons voir comment créer un nouveau scénario. Pour cela, il faut cliquer sur le bouton "New scénario" encadré en rouge sur l'image ci-dessous :

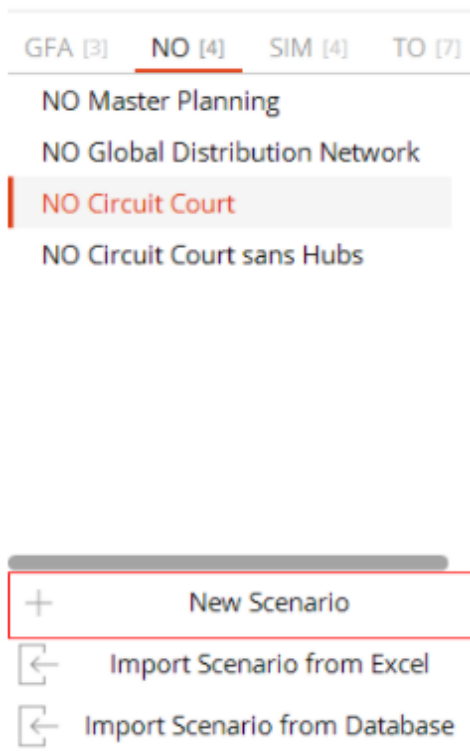


Figure E.10 – Bouton de création d'un nouveau scénario

Ce bouton permet d'ouvrir une fenêtre permettant de compléter le nom, le type du scénario, la date de début et la date de fin de la période à étudier ainsi qu'une description si besoin :

Scenario name: New scenario

Scenario type: Network Optimization (NO) ▼

Creation date: 3/20/22

Start date: 1/ 1/22 ▼

End date: 12/31/22 ▼

Description:

Add scenario data ☐

OK Cancel

Figure E.11 – Config de base d'un nouveau scénario

Il est possible d'ajouter des données au scénario de base dès la création pour gagner du temps, grâce à l'option à cocher "Add scenario data" :

Scenario name: New scenario

Scenario type: Network Optimization (NO) ▼

Creation date: 3/20/22

Start date: 1/ 1/22 ▼

End date: 12/31/22 ▼

Description:

Add scenario data ☒

Please select data generation type:

- ☒ One customer per location with demand proportional to population density
- ☐ Having equal demand, customers are distributed by population density
- ☐ Having equal demand, customers are uniformly distributed by locations

Select country/countries: All countries ▼

Create country groups for customers: ☐

Number of locations: 100

Number of customers per location: 1

Order placement frequency (period), days: 5

Demand per citizen per period: 1

Number of products: 1

Number of sites: 10

Site opening cost: 0

Site carrying cost: 0

OK Cancel

Figure E.12 – *Informations supplémentaire sur les données d'un nouveau scénario*

Comme nous pouvons le voir, cette fonctionnalité permet d'ajouter des détails sur le type de données qui sera créé, le pays dans lequel on sera, le nombre d'emplacement à utiliser et d'autres détails en lien avec les demandes, les clients et les Hubs. Les valeurs indiquées par défaut indiquent la limite pour chaque paramètre, parce que j'utilise la version académique qui est bornée.

Lorsque tous les paramètres sont entrés, il suffit d'appuyer sur "OK" pour valider, et le logiciel créer des clients et des Hubs aléatoirement dans la zone qui a été sélectionnée.

Enfin, nous retrouvons toutes les parties vu dans la partie "Importation d'un fichier existant".

F

Cahier de test

Dans ce document, nous retrouverons tous les tests que j'ai effectués.

Les 4 premiers tests sont pour comparer l'efficacité des Hubs alors que les 2 derniers sont pour comparer le fait de livrer tous les clients 1 par 1 ou tous en même temps, donc il faudra que je compare avec les NO pour dire que le système des TO est mieux (pour la livraison, mais pas pour le reste).

1 Paramètres fixes des tests

Dans cette section, nous allons voir tous les paramètres en commun avec tous les tests que j'ai réalisés. J'ai décidé de faire des tests qui se rapprochent le plus possible de mon sujet, c'est pourquoi j'ai choisi de prendre 2 producteurs de bananes et de pommes, 2 Hubs et 6 clients. Tous au alentours de Tours comme nous pouvons le voir sur la carte suivante :

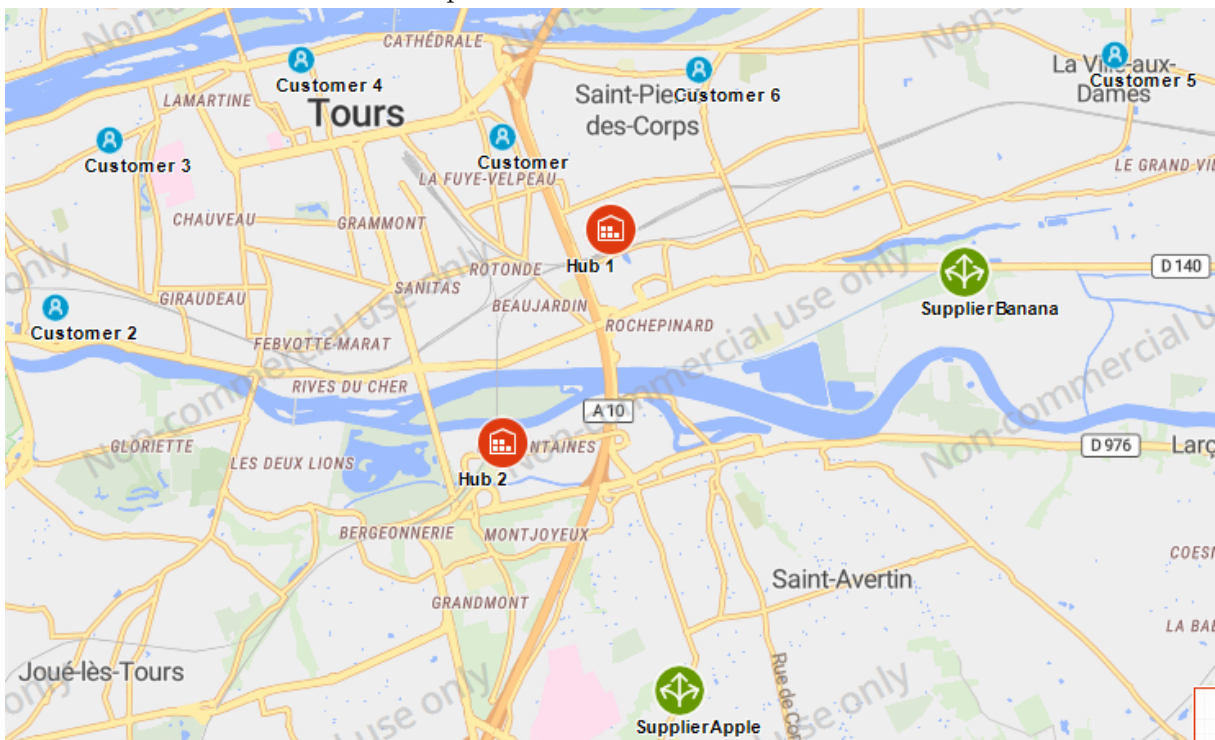


Figure F.1 – Carte présentation des tests

Pour les demandes, j’ai choisi de le faire seulement sur 1 mois pour avoir des tests classiques et représentatifs.

Clients	Pommes (kg)	Bananes (kg)
Customer	14	14.5
Customer 2	13	13.2
Customer 3	0	13
Customer 4	12.6	0
Customer 5	14	0
Customer 6	0	15

J’ai choisi un prix au kilo aléatoirement en regardant les prix des pommes et des bananes :

	Pommes	Bananes
Prix de vente au kg	2€	1.25€
Coût au kg	1.2€	1€

Pour le véhicule à utiliser, j’ai choisi de prendre 1 seul véhicule correspondant à une fourgonnette, avec les caractéristiques suivantes :

	Capacité	Vitesse moyenne
Fourgonnette	500kg	60km/h

2 Résultats des tests

Je me permet de faire un petit rappel sur la notation utilisée. “NO” correspond à Network Optimization, soit l’optimisation des réseaux. Et “TO” correspond au Transportation Optimization, soit l’optimisation des transports.

2.1 NO avec Hubs et seulement les transports

Pour ce test, nous avons la même carte que celle dans la partie “Paramètres fixes des tests”. Nous avons également quelques paramètres spécifiques à l’optimisation des réseaux dans ce cas, qui sont :

- L’ajout d’un groupe pour les Hubs et pour les fournisseurs permettant de les regrouper entre eux.
- L’ajout d’une contrainte sur le nombre de Hub à utiliser. Dans ce cas, j’ai mis que l’on pouvait utiliser soit 1 ou 2 Hubs.
- Le coût de calcul a été choisi pour être le plus simple possible donc il s’agit de 1 multiplié par la distance parcourue.
- Les deux Hubs peuvent recevoir des pommes ou des bananes et ils peuvent livrer tous les clients.

Voici les résultats obtenus pour ce test :

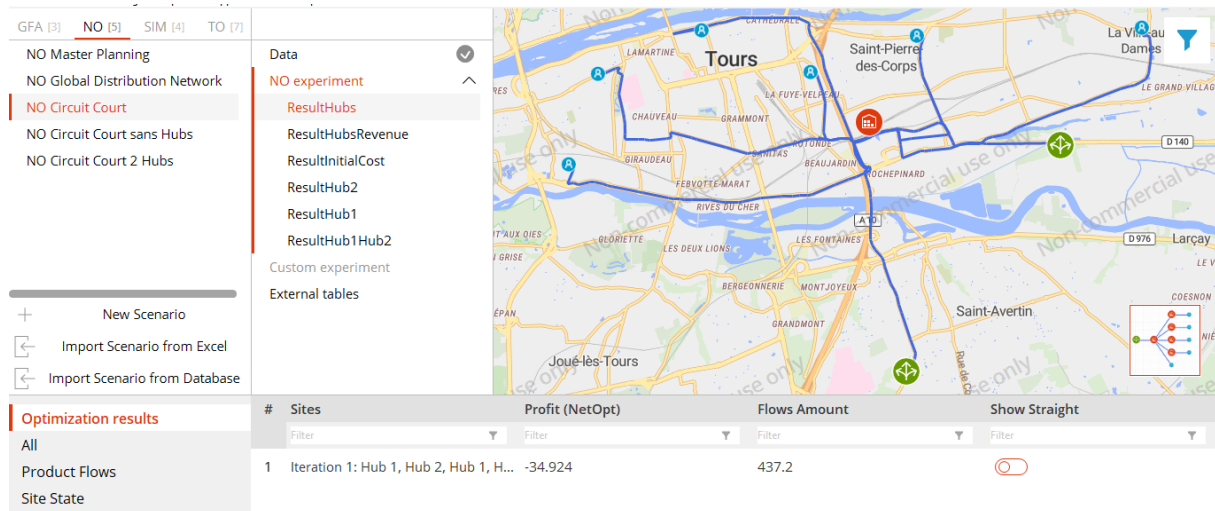


Figure F.2 – Résultat du test NO avec Hubs et seulement les transports

Cette image nous montre les trajets empruntés des fournisseurs aux Hubs et des Hubs aux clients grâce à la carte. Dans la section “Profit”, nous pouvons voir les kilomètres parcourus pour tous les trajets, ce qui veut dire qu’il faut parcourir 34.924 km pour aller à tous les endroits sans le retour de la fourgonnette donc on peut le multiplier par 2. Soit 69.848 km si on prend en compte le fait que la fourgonnette rentre dans un des fournisseurs.

D’autres informations sont intéressantes à étudier comme le flux du véhicule qui montre les chemins pris par celui-ci.

Vehicle Flows

	Source	Destination	Vehicle Type	Vehicle Trips	Cost	CO2	Total Products ...	Unit	Vehicle Capacity
1	SupplierApple	Hub 1	Fourgonnette	1	4.052	0	107.2	kg	500
2	Hub 1	Customer 3	Fourgonnette	1	5.584	0	26	kg	500
3	Hub 1	Customer	Fourgonnette	1	1.881	0	57	kg	500
4	Hub 1	Customer 6	Fourgonnette	1	2.964	0	30	kg	500
5	Hub 1	Customer 4	Fourgonnette	1	5.817	0	25.2	kg	500
6	Hub 1	Customer 2	Fourgonnette	1	5.978	0	52.4	kg	500
7	Hub 1	Customer 5	Fourgonnette	1	5.605	0	28	kg	500
8	SupplierBanana	Hub 1	Fourgonnette	1	3.043	0	111.4	kg	500

Figure F.3 – Flux de véhicule pour ce test

Nous retrouvons les distances entre les fournisseurs et les Hubs, les Hubs et les clients ainsi que les quantités de produits transportés lors du voyage.

Nous avons également l’état des Hubs, les stockages dans les Hubs et les demandes des clients avec le pourcentage de satisfaction. Dans ce cas, les demandes ont été satisfaites à 100% comme nous le montre l’image ci-dessous :

Demand Fulfillment

	Customer	Product	Demand Min	Demand Max	Satisfied	Percentage
1	Customer 3	Banane	26	26	26	100
2	Customer	Pomme	28	28	28	100
3	Customer	Banane	29	29	29	100
4	Customer 6	Banane	30	30	30	100
5	Customer 2	Pomme	26	26	26	100
6	Customer 2	Banane	26.4	26.4	26.4	100
7	Customer 4	Pomme	25.2	25.2	25.2	100
8	Customer 5	Pomme	28	28	28	100

Figure F.4 – Demande et satisfaction des clients

2.2 NO sans Hub et seulement les transports

Pour ce test, nous avons une carte différente. Sur cette carte, nous avons les clients au même endroit que sur la carte précédente mais les Hubs et les fournisseurs sont positionnés au même emplacement. J'ai été contraint de rajouter des Hubs dans cette configuration car le modèle NO ne permet pas d'avoir seulement des fournisseurs et des clients, c'est pourquoi les Hubs et les fournisseurs sont à la même place.

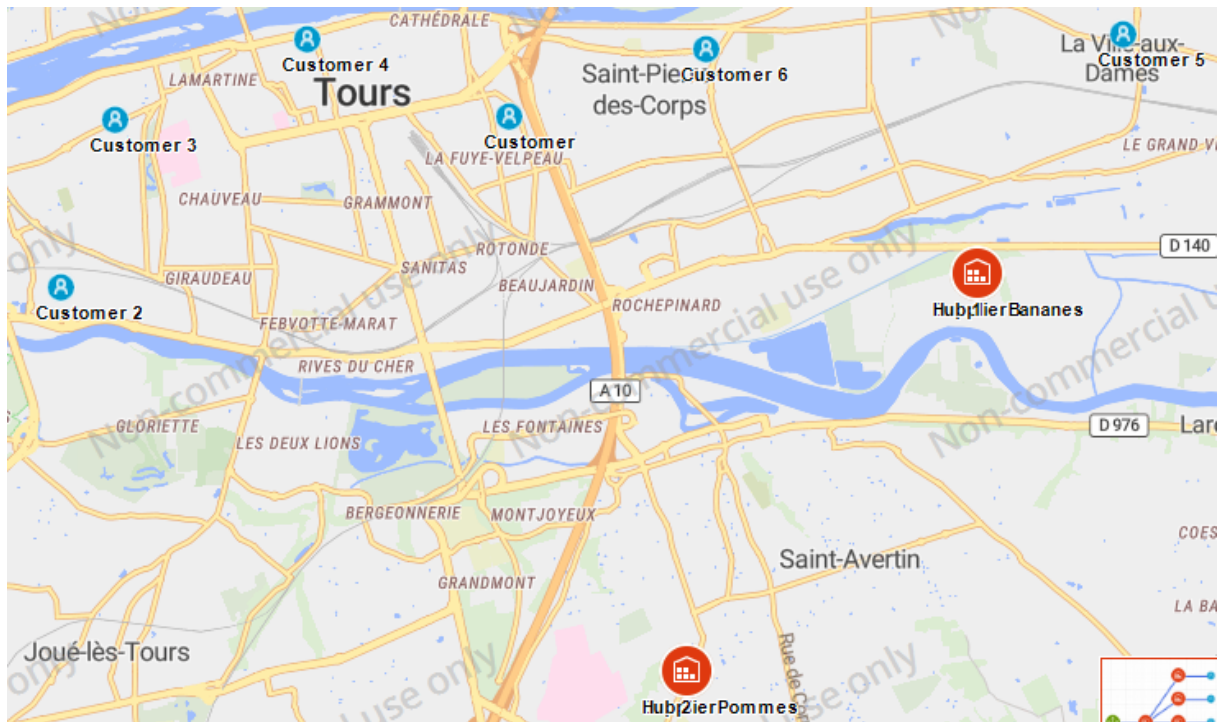


Figure F.5 – Carte Sans les Hubs

Comme pour le test précédent quelques paramètres supplémentaires ont été ajoutés :

- L'ajout des groupes pour les Hubs et pour les fournisseurs.
- L'ajout de 2 contraintes permettant de relier le Hub 1 au fournisseur de bananes et de relier le Hub 2 au fournisseur de pommes.
- L'ajout de la contrainte sur le nombre de Hubs utilisés qui a été instancié à 2 pour être sûr que les 2 Hubs soient bien utilisés.

— Le coût de calcul est similaire au test précédent.

Voici les résultats obtenus pour ce test :

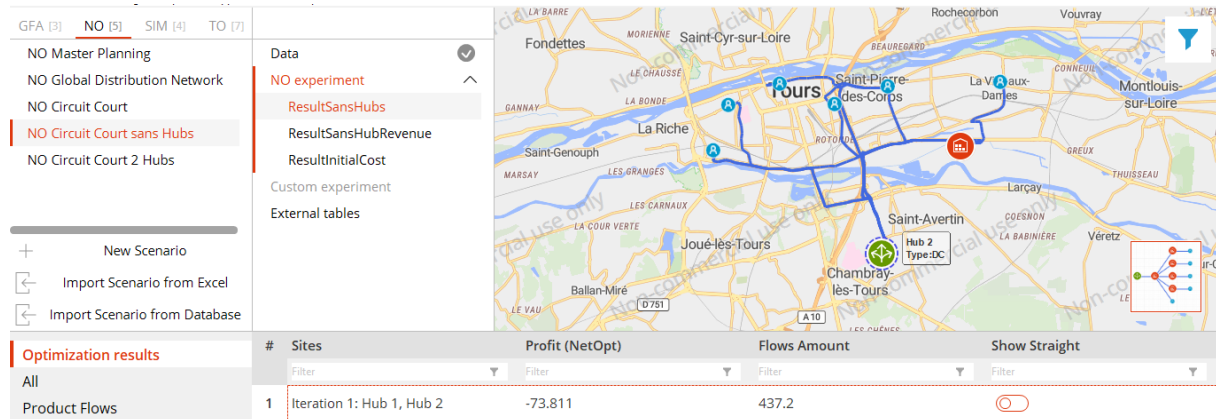


Figure F.6 – Résultat sans Hub

Grâce à cette image, nous pouvons constater que le coût de transport est de 73.811 km qu'il faut multiplier par 2 pour avoir le retour de la fourgonnette au point de départ, soit 147.622 km. Nous pouvons également observer l'itinéraire emprunté par la fourgonnette pour livrer tous les clients. La quantité étant la même pour tous les tests, elle ne change pas par rapport au flux du véhicule par contre les distances ne sont pas les mêmes comme nous pouvons le constater dans la colonne "Cost" (dans mon cas, le coût est égal à la distance.)

Vehicle Flows

	Source	Destination	Vehicle Type	Vehicle Trips	Cost	CO2	Total Products ...	Unit	Vehicle Capacity
1	Hub 1	Customer 2	Fourgonnette	1	9.336	0	26	kg	500
2	Hub 1	Customer	Fourgonnette	1	6.355	0	28	kg	500
3	Hub 1	Customer 5	Fourgonnette	1	3.619	0	28	kg	500
4	Hub 1	Customer 4	Fourgonnette	1	9.391	0	25.2	kg	500
5	SupplierPomm...	Hub 1	Fourgonnette	1	7.33	0	107.2	kg	500
6	SupplierBananes	Hub 2	Fourgonnette	1	7.444	0	111.4	kg	500
7	Hub 2	Customer 3	Fourgonnette	1	8.738	0	26	kg	500
8	Hub 2	Customer 2	Fourgonnette	1	7.908	0	26.4	kg	500
9	Hub 2	Customer	Fourgonnette	1	6.694	0	29	kg	500
10	Hub 2	Customer 6	Fourgonnette	1	6.996	0	30	kg	500

Figure F.7 – Flux de véhicule sans Hub

Les demandes ont été satisfaites à 100% comme pour le test précédent.

2.3 NO avec Hubs, les transports et les revenus

Pour ce test, nous avons la carte de la partie générale et les paramètres suivants :

- L'ajout d'un groupe pour les Hubs et pour les fournisseurs.
- L'ajout d'une contrainte sur le nombre de Hub à utiliser. Dans ce cas, j'ai mis que l'on pouvait utiliser soit 1 ou 2 Hubs.
- Le coût de calcul a été choisi pour être le plus simple possible donc il s'agit de la distance parcourue.
- L'ajout de la prise en compte des revenus générés par les produits.
- Les deux Hubs peuvent recevoir des pommes ou des bananes et ils peuvent livrer tous les clients.

Voici les résultats obtenus pour ce test :

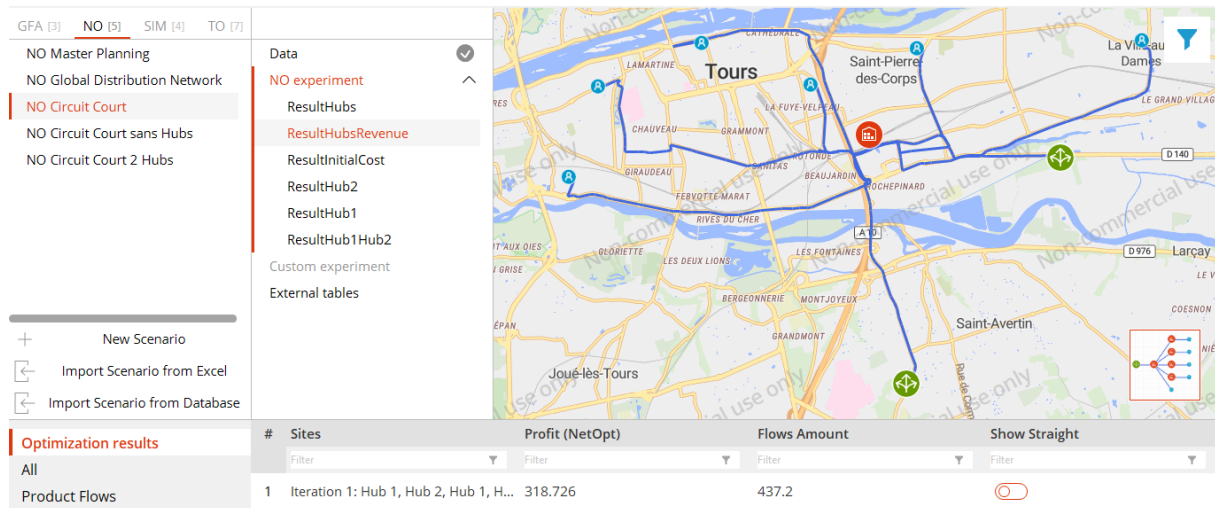


Figure F.8 – Résultats des Hubs avec le revenu

Le résultat dans la partie “Profit” correspond au revenu généré par les produits moins la distance parcourue.

Pour mieux comprendre, nous allons prendre le résultat suivant qui correspond aux objectifs détaillés :

Objective Members

	Iteration	Objective Me...	Value
1	1	Production Cost	-0
2	1	Initial Cost	-0
3	1	Carrying Cost	-0
4	1	Penalties	-0
5	1	Transportation ...	-34.924
6	1	Other Cost	-0
7	1	Inbound Proce...	-0
8	1	CO2 Emission	0
9	1	Supply Cost	-240.04
10	1	Tariffs	-0
11	1	Customer Tariffs	-0
12	1	Closing Cost	-0
13	1	Revenue	353.65
14	1	Outbound Pro...	-0

Figure F.9 – Objectif Members avec les Hubs

Le coût du transport est doublé, car il ne prend pas en compte le retour de la fourgonnette donc 69.848 km. Les revenus générés par les produits sont de 353.65€ par rapport au prix des pommes

et des bananes. Donc, le “Profit” est de $353.65 - 69.848 = 283.802$. Nous ne comptons pas le “Supply Cost”, car nous voulions des tests simples avec seulement les informations pertinentes.

Le flux du véhicule est identique au test nommé “NO avec Hubs et seulement les transports”, car le logiciel choisit le meilleur itinéraire en minimisant les coûts de transports. Les demandes des clients sont satisfaites à 100% comme pour les autres tests.

2.4 NO sans Hub, les transports et les revenus

Pour ce test, nous avons la même carte que dans le test nommé “NO sans Hubs et seulement les transports”.

Les paramètres sont très similaires au test précédent, car il s’agit du même test avec l’ajout de la prise en compte du revenu des produits en plus des kilomètres parcourus.

Voici les résultats obtenus pour ce test :

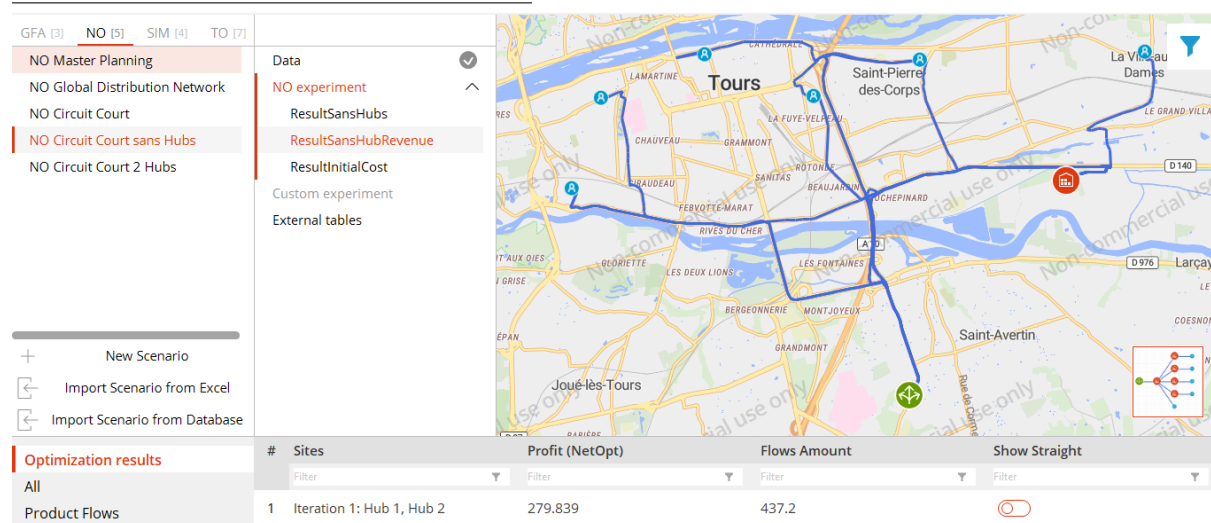


Figure F.10 – Résultats du test avec le revenu

Nous constatons comme prévu que les trajets sont les mêmes que dans le test “NO sans Hubs et seulement les transports”. Et donc les objectifs détaillés sont les suivants :

Objective Members

	Iteration	Objective Me...	Value
1	1	Closing Cost	-0
2	1	Initial Cost	-0
3	1	Inbound Proce...	-0
4	1	Penalties	-0
5	1	Outbound Pro...	-0
6	1	CO2 Emission	0
7	1	Production Cost	-0
8	1	Supply Cost	-240.04
9	1	Carrying Cost	-0
10	1	Tariffs	-0
11	1	Revenue	353.65
12	1	Other Cost	-0
13	1	Customer Tariffs	-0
14	1	Transportation ...	-73.811

Figure F.11 – Résultats des Objectifs Members sans les Hubs

Comme pour les autres tests, il faut multiplier par 2 les transports pour avoir un coût de transport plus cohérent par rapport aux retours à considérer. $73.811 * 2 = 147.622$, nous venons soustraire cette valeur à celle des revenus pour obtenir notre profit : $353.65 - 147.622 = 206.028$.

Le flux des véhicules est le même tout comme les demandes des clients, qui sont par ailleurs satisfaites à 100%.

2.5 NO avec les 2 Hubs, les transports et les revenus

Ce test comporte les caractéristiques des autres tests avec les Hubs, avec seulement quelques changements qui sont l'ajout de plusieurs contraintes permettant de forcer l'utilisation des 2 Hubs même si ce n'était pas optimal. Pour cela, nous avons ajouté les assignations suivantes :

Paths [1]	#	Label	Source	Expand Sources	Destination	Expand Destinati...	Vehicle Types	Product
Period Groups			Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
Periods [1]	5		SupplierApple	<input checked="" type="radio"/>	Hub 1	<input checked="" type="radio"/>		Pomme
Processing Cost	6		SupplierApple	<input checked="" type="radio"/>	Hub 2	<input checked="" type="radio"/>		Pomme
Product Flows [16]	7		SupplierBanana	<input checked="" type="radio"/>	Hub 1	<input checked="" type="radio"/>		Banane
Product Groups	8		Hub 1	<input checked="" type="radio"/>	Customer 3	<input checked="" type="radio"/>		Banane
Product Storages [1]	9		Hub 1	<input checked="" type="radio"/>	Customer	<input checked="" type="radio"/>		Pomme
Production	10		Hub 1	<input checked="" type="radio"/>	Customer	<input checked="" type="radio"/>		Banane
Products [2]	11		Hub 1	<input checked="" type="radio"/>	Customer 6	<input checked="" type="radio"/>		Banane
Sale Batch	12		Hub 1	<input checked="" type="radio"/>	Customer 5	<input checked="" type="radio"/>		Pomme
Site States Changes [2]	13		Hub 1	<input checked="" type="radio"/>	Customer 2	<input checked="" type="radio"/>		Pomme
Suppliers [2]	14		Hub 1	<input checked="" type="radio"/>	Customer 2	<input checked="" type="radio"/>		Banane
Tariffs	15		Hub 2	<input checked="" type="radio"/>	Customer 4	<input checked="" type="radio"/>		Pomme
Unit Conversions	16		Hub 2	<input checked="" type="radio"/>	Customer 2	<input checked="" type="radio"/>		Pomme
Units								
Vehicle Types [1]								

Figure F.12 – Configuration du flux de produit avec 2 Hubs

Grâce à ces assignations, les 2 Hubs sont bien utilisés, mais il a fallu qu'on étudie le terrain avant de proposer un choix comme celui-ci. Nous avons donc regardé attentivement la carte pour évaluer les meilleurs liens entre les Hubs et les clients et entre les fournisseurs et les Hubs.

Voici les résultats obtenus pour ce test :

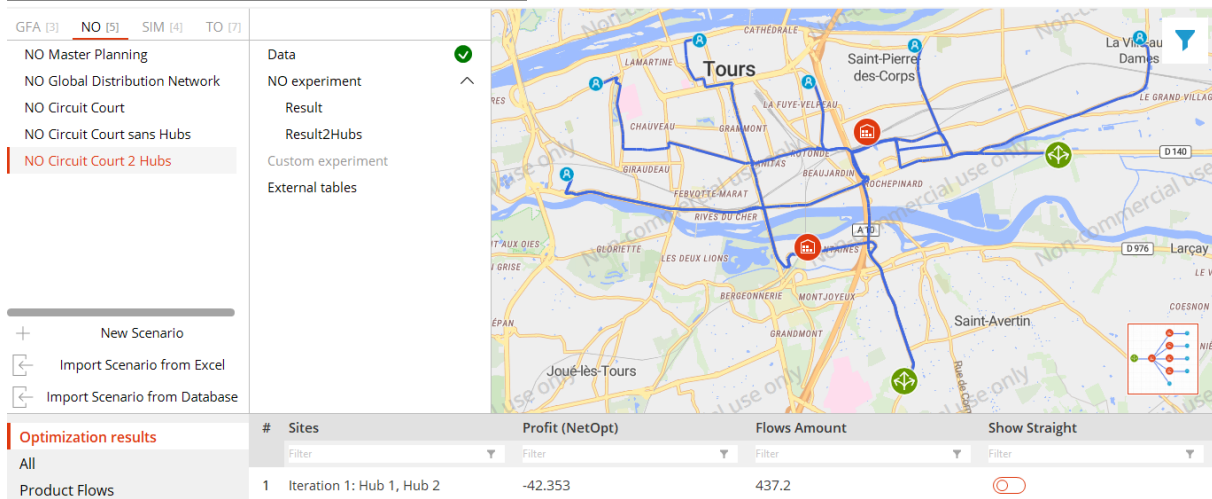


Figure F.13 – Résultats avec les 2 Hubs utilisés

Comme nous pouvons le constater sur la carte de l'image, les 2 Hubs sont bien utilisés et cela génère un coût de transport de 42.353 sans le retour donc à multiplier par 2. $42.353 * 2 = 84.706$. Si on calcule le profit avec le revenu généré par les produits, nous obtenons 268.944 car $353.65 - 84.706 = 268.944$.

Les demandes sont bien satisfaites, mais le flux des véhicules est différent comme nous le montre l'image suivante :

Vehicle Flows

	Source	Destination	Vehicle Type	Vehicle Trips	Cost	CO2	Total Products ...	Unit	Vehicle Capacity
1	Hub 2	Customer 4	Fourgonnette	1	5.01	0	25.2	kg	500
2	Hub 2	Customer 2	Fourgonnette	1	4.934	0	24.8	kg	500
3	SupplierApple	Hub 2	Fourgonnette	1	3.301	0	50	kg	500
4	SupplierApple	Hub 1	Fourgonnette	1	4.052	0	57.2	kg	500
5	Hub 1	Customer 3	Fourgonnette	1	5.584	0	26	kg	500
6	Hub 1	Customer 6	Fourgonnette	1	2.964	0	30	kg	500
7	Hub 1	Customer 2	Fourgonnette	1	5.978	0	27.6	kg	500
8	Hub 1	Customer 5	Fourgonnette	1	5.605	0	28	kg	500
9	Hub 1	Customer	Fourgonnette	1	1.881	0	57	kg	500
10	SupplierBanana	Hub 1	Fourgonnette	1	3.043	0	111.4	kg	500

Figure F.14 – Résultats du flux de véhicules avec les 2 Hubs

Ce flux des véhicules suit bien les assignations que nous avons calculées auparavant.

2.6 TO sans Hub

Avant de passer au test, il faut savoir que les TO fonctionnent différemment des NO, car dans le TO, l'optimisation est faite en passant par tous les clients d'un coup et sans utiliser le système de Hub, alors que dans le NO, l'optimisation est faite en prenant en compte les Hubs, mais en ne livrant les clients que 1 par 1.

Pour enchaîner sur le test, comporte les caractéristiques fixes des tests avec quelques changements vu qu'il s'agit d'un modèle TO et non NO. Les seuls changements sont au niveau de la configuration, car les champs sont un peu différents entre les modèles. Par exemple, les configurations que l'on a dans "Sourcing" du TO correspondent au configuration dans "Products Flows" dans le NO.

Basic	All	In use [11]	Add	Remove	Expand...
Processing Time					
Product Groups					
Products [2]					
Sourcing [2]					
Suppliers [2]					

#	Delivery Destinat...	Sources	Product	Type	Parameters	Time Period
1	(All customers)	Hub 1	Banane	Closest (Fixed Source)	No parameters	(All periods)
2	(All customers)	Hub 2	Pomme	Closest (Fixed Source)	No parameters	(All periods)

Figure F.15 – Configuration du "Sourcing" sans Hubs pour le TO

Dans les 2 cas, ils permettent de paramétrer les liens pour la livraison. Le reste des caractéristiques est identique aux autres tests.

Voici les résultats obtenus pour ce test :

GFA [3]	NO [5]	SIM [4]	TO [7]
TestTO			
Lidl CTO			
TO Circuit Court			
NIKE TO			
TO Circuit Court sans Hubs			
TO ResultSansHubRevenue NO			
TO ResultHubs NO			
New Scenario			
Import Scenario from Excel			
Import Scenario from Database			
Optimization results			
Generated Paths			
Generated Path Segments			

Data	TO experiment	Capacitated TO experiment	Result	Custom experiment	External tables
		ResultSansHub			

#	Source	Vehicle Type	Aggregation Period	Destinations	Solution Type	Show Straight
1	Hub 1	Fourgonnette	2022-01-01 - 2022-0...	[Customer 2, Custom...	Optimal (Result gap: 0)	<input type="checkbox"/>
2	Hub 2	Fourgonnette	2022-01-01 - 2022-0...	[Customer 2, Custom...	Optimal (Result gap: 0)	<input type="checkbox"/>

Figure F.16 – Premier résultat du TO sans Hubs

Grâce à l'image ci-dessus, nous pouvons voir le résultat de l'optimisation sous forme de chemin emprunté par la fourgonnette pour livrer tous les clients en bananes. Sur l'image ci-dessous, nous pouvons voir le 2ème trajet correspondant à la livraison de pommes.

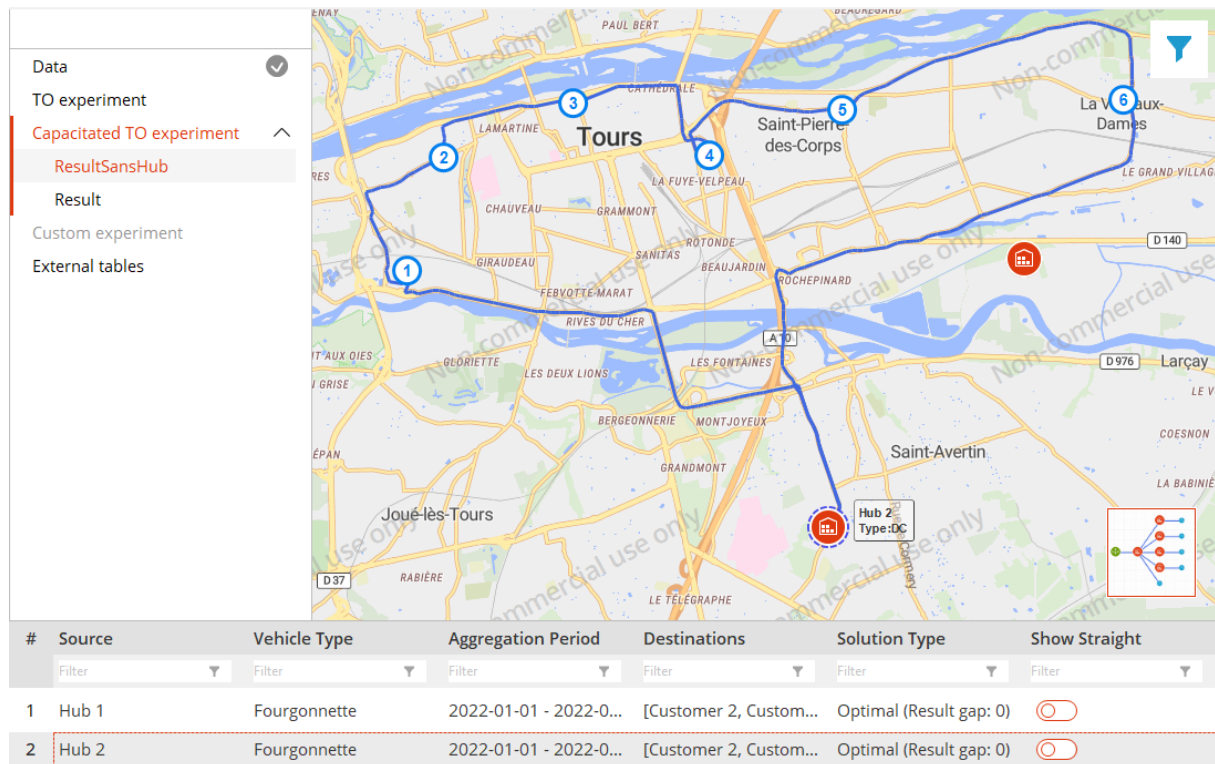


Figure F.17 – Deuxième résultat du TO sans Hubs

Nous avons également un résumé grossier du coût de transport par Hub et total grâce à la section “Generated Paths” :

Optimization results Generated Paths Generated Path Segments Skipped Customers Add new page	Generated Paths						
	Shipment >						
	Site	Vehicle Type	Destinations	Cost, EUR	Distance, km	Shi...	Solution Type
1	▲ ... (2)	Fourgonnette	Customer 2, Customer 3, Customer 4, Customer, Customer 6, C...	Sum: 57.402	Sum: 57.402	Shi...	...
2	Hub 1	Fourgonnette	Customer 2, Customer 3, Customer 4, Customer, Customer 6, ...	26.803	26.803	Shi...	Optimal (Resul...
3	Hub 2	Fourgonnette	Customer 2, Customer 3, Customer 4, Customer, Customer 6, ...	30.599	30.599	Shi...	Optimal (Resul...

Figure F.18 – Résultats des chemins générés

Nous obtenons donc un total de 57.402 km parcouru pour livrer tous les produits. Pour avoir plus de détails, il faut consulter la section “Generated Paths Segments” :

Generated Path Segments

	Origin	Vehicle Type	Destination	Distance, km	Cost, EUR	Amount
1	Hub 1	Fourgonnette	Customer 2	9.336	9.336	218.6
2	Customer 2	Fourgonnette	Customer 3	2.585	2.585	166.2
3	Customer 3	Fourgonnette	Customer 4	2.089	2.089	140.2
4	Customer 4	Fourgonnette	Customer	2.582	2.582	115
5	Customer	Fourgonnette	Customer 6	2.467	2.467	58
6	Customer 6	Fourgonnette	Customer 5	4.516	4.516	28
7	Customer 5	Fourgonnette	Hub 1	3.229	3.229	0
8	Hub 2	Fourgonnette	Customer 2	7.908	7.908	218.6
9	Customer 2	Fourgonnette	Customer 3	2.585	2.585	166.2
10	Customer 3	Fourgonnette	Customer 4	2.089	2.089	140.2
11	Customer 4	Fourgonnette	Customer	2.582	2.582	115
12	Customer	Fourgonnette	Customer 6	2.467	2.467	58
13	Customer 6	Fourgonnette	Customer 5	4.516	4.516	28
14	Customer 5	Fourgonnette	Hub 2	8.452	8.452	0

Figure F.19 – Résultats détaillés des chemins générés

Le profit est donc de $353.65 - 57.402 = 296.248$ €

2.7 TO avec Hubs

Pour ce test, les caractéristiques ont été configurées grâce à la conversion de NO vers TO qui est possible d'effectuer entre tous les modèles. Ce test possède les mêmes paramètres que le test du NO avec Hubs.

Voici les résultats obtenus pour ce test :

Pour la partie d'optimisation des résultats nous avons la carte correspondant à la livraison des 2 produits, car dans le cas optimal, il est préférable de n'utiliser qu'un seul Hub.

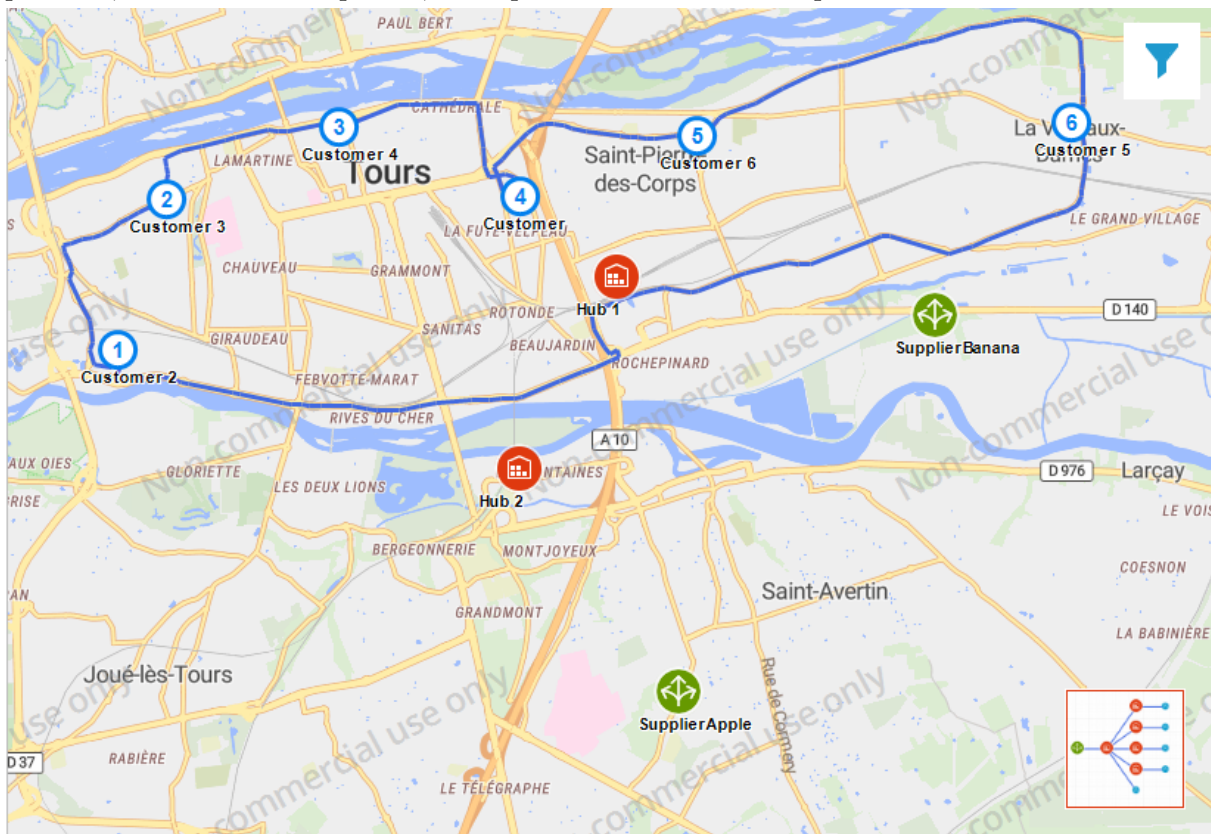


Figure F.20 – Carte du résultat du TO avec Hubs

Pour les chemins empruntés, nous avons les résultats suivants :

Generated Paths							
Shipment >							
	Site	Vehicle Type	Destinations	Cost, EUR	Distance, km	Shi...	Solution Type
1	Hub 1	Fourgonnette	Customer 2, Customer 3, Customer 4, Customer, Customer 6, C...	Sum: 25.443	Sum: 25.443	Ship...	...
2	Hub 1	Fourgonnette	Customer 2, Customer 3, Customer 4, Customer, Customer 6, ...	25.443	25.443	Shi...	Optimal (Resul...

Figure F.21 – Résultats des chemins générés pour le TO avec des Hubs

Comme ces résultats ne correspondent qu'à la tournée du Hub 1 vers tous les clients, il manque la distance entre le Hub 1 et les 2 fournisseurs que l'on peut retrouver dans le tableau du flux de véhicule dans le test des 2 Hubs. La distance entre le Hub 1 et le fournisseur de bananes est de 3.043 km et celle entre le Hub 1 et le fournisseur de pommes est de 4.052 km. Nous pouvons maintenant calculer le coût total pour ce test, $25.443 + 4.052 * 2 + 3.043 * 2 = 39.633$ km. Nous avons multiplié par 2 les distances entre le Hub et les fournisseurs, car on suppose que la fourgonnette commence sa tournée chez un fournisseur. Le Profit est donc de $353.65 - 39.633 = 314.017$ €.

3 Analyse des résultats

Les 2 types de tests avec les revenus et sans les revenus ont été réalisés pour avoir une base sur laquelle se poser et pour comparer si les résultats liés à la transportation des produits sont bons, car ils sont censés être similaires.

Pour pouvoir comparer plus facilement tous mes tests, j'ai réalisé un tableau qui reprend les différents résultats obtenus.

Tests	Profit (en €)	Revenu (en €)	Transport (en km)
NO avec Hubs et seulement les transports	- 69.848	0	69.848
NO sans Hub et seulement les transports	- 147.622	0	147.622
NO avec Hubs, les transports et les revenus	+ 283.802	353.65	69.848
NO sans Hub, les transports et les revenus	+ 206.028	353.65	147.622
NO avec les 2 Hubs, les transports et les revenus	+ 268.944	353.65	84.706
TO sans Hub	+ 296.248	353.65	57.402
TO avec Hubs	+ 314.017	353.65	39.633

Pour rappel dans mon cas, le profit est égal au revenu moins les coûts de transports, sachant que dans notre formule de calcul des coûts de transports, le prix de ce coût est égal à la distance.

En analysant les résultats obtenus, nous constatons que le profit est négatif pour les 2 premiers tests, car les revenus n'ont pas été pris en compte. Pour les autres tests, nous pouvons voir que les revenus ont plus ou moins amorti les coûts de transports.

Dans n'importe quel cas où l'on utilise les Hubs, nous observons que la distance à parcourir est plus courte que sans les Hubs. Donc, nous pouvons dire que lorsque les Hubs sont bien positionnés, ils sont efficaces et primordiaux pour réduire les coûts de transports. Cependant, d'après le test avec les 2 Hubs, nous pouvons constater que si un Hub n'est pas bien placé, il devient très peu utile voir inutile.

Pour finir, nous pouvons conclure que la combinaison entre le modèle TO et l'utilisation des Hubs est le moyen le plus rentable de réduire les coûts de transports, parce qu'il permet de ne pas visiter les clients 1 par 1, mais les uns à la suite des autres, ce qui est correct quand les clients sont assez proches entre eux comme dans notre cas (circuit court).

- [1] William A. Young ALIREZA FALLAHTAFTI Ehsan Ardjmand et Gary R. WECKMAN. « A multi-objective two-echelon location-routing problem for cash logistics : A meta-heuristic approach ». In : *Applied Soft Computing* 11 (nov. 2021), p. 1-18.
- [2] Jean-François CORDEAU, Guy DESAULNIERS, Jacques DESROSIERS, Marius M. SOLOMON et François SOUMIS. « The VRP with time windows ». In : *Montréal : Groupe d'études et de recherche en analyse de décisions* (juin 2000).
- [3] Zongxi Zhang JIN XIN CAO et Yuguang ZHOU. « A location-routing problem for biomass supply chains ». In : *Computer and Industrial Engineering* 152 (fév. 2021), p. 1-11.
- [4] M. Sol M. W. P. SAVELSBERGH. « The General Pickup and Delivery Problem ». In : *Transportation Science* 29 (fév. 1995), p. 17-29.
- [5] Khosro PICHKAA, Amirsaman H. BAJGIRANB, Matthew E.H. PETERINGB, Jaejin JANGB et Xiaohang YUE. « The two echelon open location routing problem : Mathematical model and hybrid heuristic ». In : *Computers and Industrial Engineering* 121 (juil. 2018), p. 97-112.
- [6] Caroline PRODHON et Christian PRINS. « A survey of recent research on location-routing problems ». In : *European Journal of Operational Research* 238 (oct. 2014), p. 1-17.
- [7] Christian Prins VIET-PHUONG NGUYEN et Caroline PRODHON. « Solving the two-echelon location routing problem by a GRASP reinforced by a learning process and path relinking ». In : *European Journal of Operational Research* 216 (jan. 2012), p. 113-126.

H

Acronymes

AnyLogistix Outil d'analyse, d'optimisation et de simulation de chaîne d'approvisionnement. [iii](#), [iv](#), [18](#), [19](#), [22](#), [24](#), [30](#), [31](#), [35](#), [36](#), [42](#), [43](#)

CPLEX Logiciel d'optimisation commercialisé par IBM. [3](#), [19](#), [32–35](#)

GLPK Logiciel de résolution de problèmes de programmation linéaire. [iii](#), [19](#), [22](#), [23](#), [30](#), [36](#)

LRP Location Routing Problem. [11](#)

LRP-2E Location Routing Problem 2 Echelons. [iii](#), [vi](#), [1](#), [3](#), [4](#), [13](#), [19](#), [30](#), [32](#)

PDP Pickup and Delivery Problem. [6](#)

PRD Projet de Recherche et de Développement. [iii](#), [iv](#), [vi](#), [3](#), [6](#), [23](#), [27–31](#), [33](#), [36](#)

VRP Vehicle Routing Problem. [6](#), [8](#)

VRPTW Vehicle Routing Problem with Time Windows. [9](#)

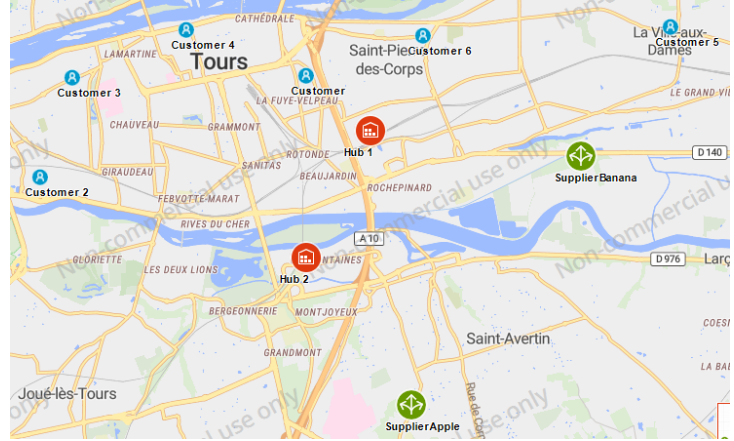
Logistique des circuits courts avec des hubs intermédiaires

Corentin JOLLET

Encadrement : Jean-Charles BILLAUT et Pierre DESPORT

Objectifs

- Modélisation mathématique des circuits courts avec des Hubs intermédiaires.
- Simulation avec le logiciel pour des circuits courts.
- Étude du logiciel AnyLogistix.

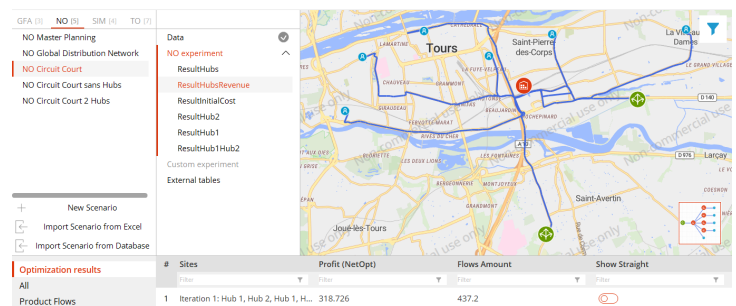


Mise en œuvre

1. Document sur le fonctionnement d'AnyLogistix.
2. Cahier sur les tests réalisés.
3. Réalisation d'exemples en lien avec mon sujet.

Résultats attendus

Représentation de plusieurs exemples dans des circuits courts sur AnyLogistix avec une simulation et exploitation des résultats.



Logistique des circuits courts avec des hubs intermédiaires

Corentin JOLLET

Encadrement : Jean-Charles BILLAUT et Pierre DESPORT

Objectifs

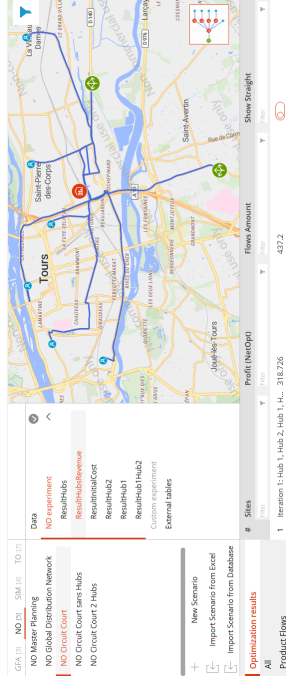
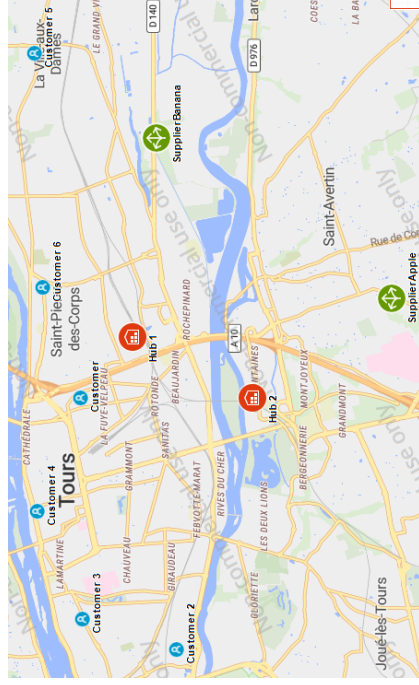
- Modélisation mathématique des circuits courts avec des Hubs intermédiaires.
- Simulation avec le logiciel pour des circuits courts.
- Étude du logiciel AnyLogistix.

Mise en œuvre

1. Document sur le fonctionnement d'AnyLogistix.
2. Cahier sur les tests réalisés.
3. Réalisation d'exemples en lien avec mon sujet.

Résultats attendus

Représentation de plusieurs exemples dans des circuits courts sur AnyLogistix avec une simulation et exploitation des résultats.



Logistique des circuits courts avec des hubs intermédiaires

Résumé

Ce projet a pour but de concevoir un modèle mathématique ainsi qu'une simulation, pour répondre à un problème de routage de localisation avec l'utilisation de Hubs intermédiaires. L'objectif est donc de minimiser les coûts liés aux circuits, des producteurs aux Hubs et des Hubs aux clients. Vous retrouverez donc dans ce document, un état de l'art qui reprend les différents problèmes auquel je pourrais être confronté, ainsi que des détails utiles sur la modélisation de ces problèmes. Une description générale du sujet, une analyse et une conception des modèles mathématiques, une mise en oeuvre et un bilan sera présenté dans ce document.

Mots-clés

Circuits courts avec Hubs intermédiaires, Problème de routage de localisation, Problème de routage de localisation à 2 échelons, AnyLogistix, Simulation

Abstract

This project aims to design a mathematical model as well as a simulation, to respond to a localization routing problem with the use of intermediate hubs. The objective is therefore to minimize circuit costs, from producers to hubs and hubs to customers. You will find in this document a state-of-the-art which takes up the various problems I might be confronted with, as well as the heuristics associated with them. A general description of the subject, analysis and design of mathematical models, implementation and review will be presented in this document.

Keywords

Short circuits with intermediate Hubs, Location routing problem, Location routing problem 2 echelons, AnyLogistix, Simulation

Tuteurs académiques
Jean-Charles BILLAUT
Pierre DESPORT

Étudiant
Corentin JOLLET (DI5)