

The truck-and-freighter routing problem

Mater 2 ORO - Optimization in Transportation and Logistics
ANDRIAMISEZA.S, GONTIER.A, PILLET.X

2019

Le TRFP est un problème original où l'on prend en compte une interaction particulière entre deux véhicules. Plus explicitement un véhicule peut effectuer un trajet à l'intérieur d'un autre. Le but sera en premier lieu de pouvoir modéliser un tel problème et d'ensuite réfléchir et analyser la sensibilité de ses paramètres à l'aide d'expérimentations.

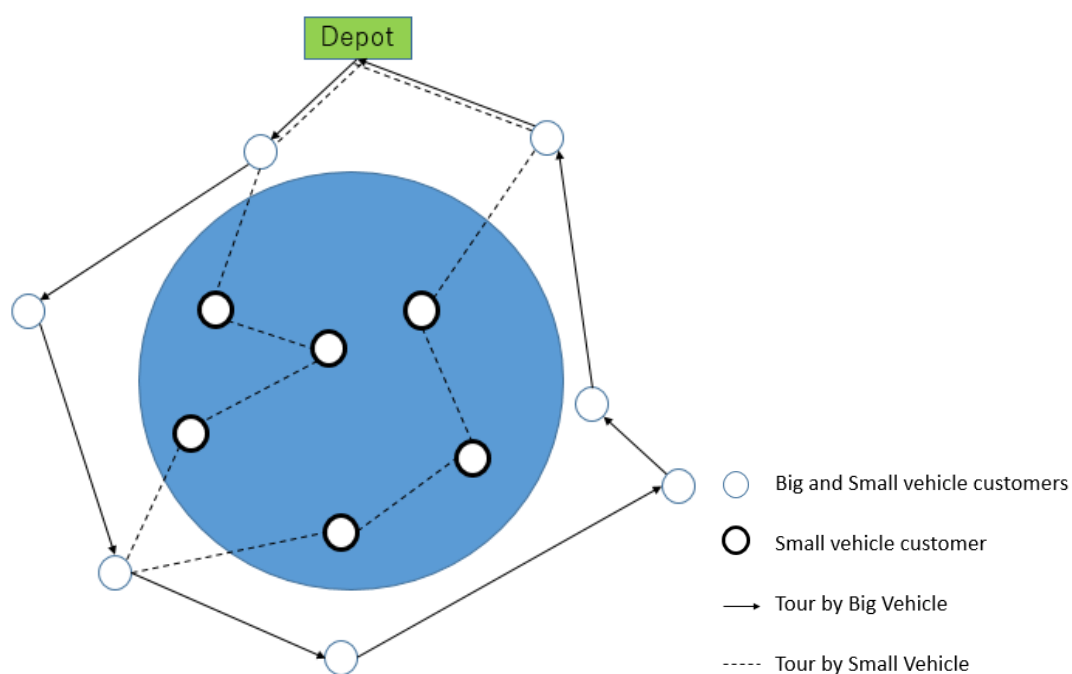


Figure 1: Typical solution of the truck and freighter routing problem

Contents

1	Problem description	3
2	Notation	3
2.1	Données d'instances et notations ensemblistes	3
2.2	Modélisation	4
2.3	Explication des contraintes	5
2.4	Tentative et considération sur la modélisation:	8
3	Inégalités valides	8
3.1	Bornes plus précises sur les dates d'arrivée aux les sommets	8
3.2	Raffinement du big M	8
3.3	Description succinctes des instances	10
4	Experimentations	10
4.1	Comparaison entre modèle initial et amélioré	11
4.2	Méthodologie de l'expérimentation numérique	11
4.3	Influences des paramètres sur la solution	12
5	Annexe	13
5.1	Résultats de la variation de paramètres	13

1 Problem description

The truck-and-freighter routing problem consists in delivering goods starting from a principal distribution center to the multiple customers in a city. The specificity of the problem is that the delivery of goods is performed by an innovative type of truck¹, where a small electric truck (called city freighter) can travel inside a larger truck (called truck in the following). The city implements an innovative logistics delivery policy and some streets are forbidden to traditional trucks. As a result, some customers can be served only by the city freighter.

In the Truck&Freighter Routing Problem (TFRP), customers are all delivered from a depot located outside of the city. To travel to the city center, the large truck leaves this depot, carrying the city freighter. Both vehicles can separate and join again at dedicated parking areas. In terms of capacity, the large truck can be considered as having an infinite capacity. The city freighter has a more limited capacity, but it can be resupplied several times by the large truck at parking areas. The day is considered to start at time 0 and end at the end of the time horizon T . All trucks should be back at the depot by this time.

Each customer has a location, a quantity and a time window. All customer should be served before the end of their time window. If a truck arrives at a customer before the opening of the time window, it has to wait until this time.

The routing costs are considered to be equal to the sum of vehicle routing traveling times. Note that no cost is accounted for when the small city freighter travels within the large truck.

The problem consists of designing the routes of the truck and city freighter, including determining when they travel together and separately and where they separate and join, such that all routes start and end at the depot, customers are served within their respective time windows, vehicles capacity are respected, and traveling costs are minimized.

2 Notation

Dans cette section nous donnerons l'ensemble des notations que nous utilisons pour notre modélisation du problème.

2.1 Données d'instances et notations ensemblistes

Notation sur les ensembles représentatif du problème:

- $J = \{1, \dots, n\}$: ensemble des clients
- Les sommets 0 et $n + 1$ représentent le dépôt
- $J_S \subset J$: Noeud pouvant être servi par le petit véhicule uniquement
- P : Ensemble de Parking ou noeud de transfert
- $V_o = \{0; n + 1\} \cup J \cup P$: Ensemble qui représente tout les sommets/noeuds du graphe (y compris le dépôt compté deux fois pour l'aller et le retour)

Data:

- c_{ij}^B : coût pour aller du sommet $i \in V_o$ au sommet $j \in V_o$ pour le gros camion
- c_{ij}^S : coût pour aller du sommet $i \in V_o$ au sommet $j \in V_o$ pour le petit camion seul
- q_j : demande d'un client $j \in J$

¹<http://bil.libner.com>

- Q : capacité du petit véhicule
- t_{ij} : temps de trajet d'un sommet $i \in V$ au sommet $j \in V$
- s : durée de service d'un client $j \in J$
- $[a_j, b_j]$: fenêtre de temps pour servir un client $j \in J$
- T : horizon temporelle global

Comme dit dans la consigne, pour le projet nous nous sommes assurés que $c_{ij}^B = t_{ij}$. De même au respect de α , le temps de trajet pour un arc (i, j) est $\alpha \times t_{ij}$ ou t_{ij} selon le véhicule considéré.

En plus des notations introduites, on définit :

- $V \doteq J \cup P$
- $V_o \doteq V \cup \{0, n+1\}$
- $V_B \doteq V \setminus J_S$
- $V_{Bo} \doteq V_B \cup \{0, n+1\}$

2.2 Modelisation

Bien entendu, nous sommes partis du principe que l'inégalité triangulaire est respectée. Supposer l'inverse peut amener à se poser des questions supplémentaires qui nécessitent au terme de la complexité du problème une réflexion complémentaire.

Grâce à la corrélation directe entre le temps de trajet et la distance parcourue, minimiser l'un ou l'autre est trivialement équivalent. Ainsi nous avons défini notre objectif comme une minimisation de temps de trajet et de distance.

$$\min z = \sum_{i \in V_o} \sum_{j \in V_o} (x_{ij}^B \times t_{ij} + x_{ij}^S \times \alpha \times t_{ij})$$

Au regard des contraintes suivantes:

(nous les expliciterons dans la section suivante)

Contraintes de flots (1)

$$\sum_{i \in V_{Bo}} x_{ij}^B = \sum_{i \in V_{Bo}} x_{ji}^B \quad \forall j \in V_B \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V_o} x_{ij}^S = \sum_{i \in V_o} x_{ji}^S \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V_o} (x_{ij}^S + x_{ij}^{BS}) = \sum_{i \in V_o} (x_{ji}^S + x_{ji}^{BS}) \quad \forall j \in V \quad (4)$$

$$x_{ij}^B \geq x_{ij}^{BS} \quad \forall i \in V_o, \forall j \in V_o \quad (5)$$

$$1 - x_{ij}^S \geq x_{ij}^{BS} \quad \forall i \in V_o, \forall j \in V_o \quad (6)$$

Contraintes de demande et de départ (7)

$$\sum_{i \in V_o} (x_{ij}^B + x_{ij}^S) = 1 \quad \forall j \in J \quad (8)$$

$$\sum_{i \in V_B} x_{0i}^{BS} = 1 \quad (9)$$

$$\sum_{i \in V_B} x_{i,n+1}^B = 1 \quad (10)$$

$$\sum_{i \in V} (x_{i,n+1}^S + x_{i,n+1}^{BS}) = 1 \quad (11)$$

$$\sum_{i \in V} (x_{i0}^B + x_{i0}^S + x_{i0}^{BS}) = 0 \quad (12)$$

$$\sum_{i \in V} (x_{n+1,i}^B + x_{n+1,i}^S + x_{n+1,i}^{BS}) = 0 \quad (13)$$

$$x_{0,n+1}^B + x_{0,n+1}^S + x_{0,n+1}^{BS} + x_{n+1,0}^B + x_{n+1,0}^S + x_{n+1,0}^{BS} = 0 \quad (14)$$

$$\sum_{i \in V} (x_{ii}^B + x_{ii}^S + x_{ii}^{BS}) = 0 \quad (15)$$

$$x_{ij}^B + x_{ji}^B = 0 \quad \forall i \in V_o, j \in J_S \quad (16)$$

$$\text{Contraintes de temps} \quad (17)$$

$$u_j \geq u_i + \alpha \times t_{ij} + s - M(1 - x_{ij}^S) \quad \forall i \in V_o, \forall j \in V_o \quad (18)$$

$$u_j \geq u_i + t_{ij} + s - M(1 - x_{ij}^B) \quad \forall i \in V_o, \forall j \in V_o \quad (19)$$

$$u_j \leq b_j \quad \forall j \in J \quad (20)$$

$$u_j \geq a_j + s \quad \forall j \in J \quad (21)$$

$$u_{n+1} \leq T \quad (22)$$

$$\text{Contraintes de capacité} \quad (23)$$

$$h_j \leq h_i - \frac{q_j}{2} (2 - \sum_{i \in V_{Bo}} x_{ij}^B) + M(1 - x_{ij}^S) \quad \forall i \in V_o, j \in J \quad (24)$$

$$h_j \leq Q \times \sum_{i \in V_o} x_{ij}^B + h_i + M(1 - x_{ij}^S) \quad \forall i \in V_o, \forall j \in P \quad (25)$$

$$h_j \leq Q \quad \forall j \in V \quad (26)$$

$$\text{Contraintes d'intégrité} \quad (27)$$

$$u_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (28)$$

$$h_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (29)$$

$$x_{ij}^B \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in V_o \quad (30)$$

$$x_{ij}^S \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in V_o \quad (31)$$

$$x_{ij}^{BS} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in V_o \quad (32)$$

2.3 Explication des contraintes

Contraintes d'intégrité

$$u_j \geq 0 \quad \forall j \in J$$

Cette variable indique à quelle heure les deux camions sont parti du nœud j .

$$h_j \geq 0 \quad \forall j \in J$$

Cette variable indique la capacité du petit véhicule après avoir desservi le nœud j .

$$x_{ij}^B \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in V$$

Cette variable représente le passage du gros véhicule sur la route (i, j) .

$$x_{ij}^S \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in V$$

Cette variable représente le passage du petit véhicule sur la route i, j si il est hors du gros camion.

$$x_{ij}^{BS} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in V$$

Cette variable représente le passage du petit véhicule sur la route i, j si il est dans le gros camion.

Contraintes de flots

$$\sum_{i \in V \setminus J_S} x_{ij}^B = \sum_{i \in V \setminus J_S} x_{ji}^B \quad \forall j \in V \setminus J_S$$

Cette contrainte exprime la conservation des flots pour le gros véhicule. Tout ce qui entre dans i ressort dans j quelque soit i et j dans $V \setminus J_S$. En effet le gros véhicules ne peut visiter les clients appartenant à J_S .

$$\sum_{i \in V} x_{ij}^S = \sum_{i \in V} x_{ji}^S \quad \forall j \in J$$

Cette contrainte est similaire à la précédente sauf qu'elle concerne le petit véhicule. La nuance cependant vient du fait que le petit véhicule peut aller vers n'importe quelle point.

$$\sum_{i \in V} (x_{ij}^S + x_{ij}^{BS}) = \sum_{i \in V} (x_{ji}^S + x_{ji}^{BS}) \quad \forall j \in P$$

Ici on autorise le fait que pour tout parking visité par le petit véhicule, il peut sortir ou entrer dans le gros.

$$x_{ij}^B \geq x_{ij}^{BS} \quad \forall i, j \in V$$

Ici on oblige la variable qui indique que le petit véhicule voyage dans le gros à être corrélée avec la variable du gros véhicule. x_{ij}^B est forcé à 1 si x_{ij}^{BS} est à 1.

$$1 - x_{ij}^S \geq x_{ij}^{BS} \quad \forall i, j \in V$$

Ici, on interdit le petit véhicule de voyager en même temps dans et hors du gros.

Contraintes de demande et de départ

$$\sum_{i \in V} (x_{ij}^B + x_{ij}^S) \geq 1 \quad \forall j \in J$$

Cette contrainte indique que chaque client doit au moins être visité par un des deux camions.

$$\sum_{i \in P \cup J \setminus J_S} x_{0i}^{BS} = 1$$

Cette contrainte oblige le gros camion à sortir du dépôt en transportant le petit. Comme il est dit dans la consigne: "the large truck leaves this depot, carrying the city freighter."

$$\sum_{i \in P \cup J \setminus J_S} x_{i,n+1}^B = 1$$

Cette contrainte oblige le gros camion à rentrer au dépôt.

$$\sum_{i \in P \cup J \setminus J_S} (x_{i,n+1}^S + x_{i,n+1}^{BS}) = 1$$

Cette contrainte oblige le petit véhicule à rentrer au dépôt, seul ou dans le gros.

$$\sum_{i \in V} (x_{i0}^B + x_{i0}^S + x_{i0}^{BS}) = 0$$

Cette contrainte empêche les camions de rentrer au premier dépôt (dépôt 0).

$$\sum_{i \in V} (x_{n+1,i}^B + x_{n+1,i}^S + x_{n+1,i}^{BS}) = 0$$

Cette contrainte empêche les camions de partir du deuxième dépôt (dépôt n+1).

$$x_{0,n+1}^B + x_{0,n+1}^S + x_{0,n+1}^{BS} + x_{n+1,0}^B + x_{n+1,0}^S + x_{n+1,0}^{BS} = 0$$

Cette contrainte interdit les camions de cycliser entre les dépôts (en soit c'est le même dépôt).

$$\sum_{i \in V} (x_{ii}^B + x_{ii}^S + x_{ii}^{BS}) = 0$$

Cette contrainte interdit les camions de cycliser sur un sommet.

$$x_{ij}^B + x_{ji}^B = 0 \quad \forall i \in V, j \in J_S$$

Cette contrainte interdit la petite ville aux gros camions.

Contraintes de temps

$$u_j \geq u_i + \alpha \times t_{ij} + s - M(1 - x_{ij}^S) \quad \forall i, j \in V$$

Cette contrainte propage le temps de déplacement du petit véhicule

$$u_j \geq u_i + t_{ij} + s - M(1 - x_{ij}^B) \quad \forall i, j \in V$$

Cette contrainte propage le temps de déplacement du gros véhicule

$$u_j \leq b_j \quad \forall j \in J$$

$$u_j \geq a_j + s \quad \forall j \in J$$

Ces deux contraintes vérifient que l'on dessert bien le client dans la fenêtre de temps $[a, b]$

$$u_{n+1} \leq T$$

Cette contrainte oblige les véhicules à être rentrés avant le temps limite T .

Contraintes de capacité

$$h_j \leq h_i - \frac{q_j}{2} (2 - \sum_{i \in V} x_{ij}^B) + M(1 - x_{ij}^S) \quad \forall i \in V, j \in J$$

Cette contrainte met à jour la capacité du petit véhicule seulement si le gros véhicule ne passe pas aussi par le client j .

$$h_j \leq Q \times \sum_{i \in V} x_{ij}^B + h_i + M(1 - x_{ij}^S) \quad \forall i \in V, \forall j \in P$$

Cette contrainte permet au petit véhicule de recharger sa capacité s'il passe sur un parking en même temps que le gros.

$$h_j \leq Q \quad \forall j \in V$$

Cette contrainte contraint la capacité maximale pour que la précédente fonctionne correctement.

2.4 Tentative et considération sur la modélisation:

Le modèle s'est surtout construit par essai-erreur parallèlement à son implémentation . En lançant le programme, nous avons précisément pu au fur et à mesure détecter les failles du modèle, les contraintes manquantes ou déficientes.

Dans notre toute première modélisation, nous voulions avoir un minimum de variables de décision. C'est pourquoi nous avons tenté en premier lieu une modélisation avec deux variables pour modéliser le petit et le gros véhicules. Par la suite nous avons essayé de nous arranger pour détecter que lorsque le petit et le gros repartent d'un même sommet alors la capacité du petit véhicule n'est pas diminuée. Le revers de cette modélisation est qu'il n'est pas possible de différencier le cas où les deux véhicules voyagent l'un dans l'autre ou côte à côte. Après un temps de délibération, nous en avons conclu qu'il est trop ardu (peut être même impossible) d'éviter l'introduction d'une nouvelle variable qui modéliserait le trajet du gros véhicule transportant le petit.

3 Inégalités valides

On peut facilement générer des inégalités valides en réalisant des combinaisons linéaires de contraintes. Mais comme les contraintes d'inégalités s'appuient pour la plupart sur un big M , à moins de trouver un moyen d'annuler les big M , les inégalités valides générées de cette manière ne seront pas d'un grand secours pour le solveur. On a donc opté pour une méthode de propagation de contraintes.

3.1 Bornes plus précises sur les dates d'arrivée aux les sommets

L'idée est de raffiner les bornes sur les temps de passage en calculant le temps minimal qu'il faut à un véhicule pour atteindre un sommet donné et le temps maximal auquel il doit y arriver pour qu'il puisse être rentré à temps au dépôt (avant T).

En plus de resserrer les bornes des variables, cette procédure permet d'identifier des cas de non faisabilité d'une instance : lorsque les véhicules ne sont pas en mesure d'atteindre les points de livraison dans les temps impartis, et même d'identifier des clients insatisfiables.

Pour cela l'idée consiste tout simplement à appliquer un algorithme de plus court chemin depuis le point de départ et d'arrivé pour tous les sommets, en utilisant la matrice des temps de trajet en guise de coût. Cela donne les temps de trajets minimaux pour partir ou rentrer au dépôt à partir de n'importe quel sommet.

L'algorithme d'obtention de ces bornes est présenté page 9.

Une fois ces bornes obtenues, on peut remplacer les contraintes (21) et (22) par :

$$\begin{aligned} u_j &\leq \min\{b_j, \sup U_j\} & \forall j \in J \\ u_j &\geq \max\{a_j + s, \inf U_j\} & \forall j \in J \end{aligned} \tag{33}$$

et ajouter les contraintes suivantes (sur les parkings) :

$$\begin{aligned} u_j &\leq \sup U_j & \forall j \in P \\ u_j &\geq \inf U_j & \forall j \in P \end{aligned} \tag{34}$$

3.2 Raffinement du big M

Contraintes de temps (19) et (20)

Algorithm 1 `calculeBornesTempsDePassage`

Require: $J, J_s, P, t, s, T, b, n, \alpha$

$V_O \leftarrow J \cup P \cup \{0, n+1\}$

$V \leftarrow J \cup P$

$J_B \leftarrow J \setminus J_s$

// On commence par calculer les temps de trajet minimaux sur chaque arc.

for $i \in V_O$ **do**

for $j \in V_O$ **do**

if $j \in J_s$ **then**

if $i \in J$ **then**

$t[i, j] \leftarrow s + \alpha \times t[i, j]$

else

$t[i, j] \leftarrow \alpha \times t[i, j]$

end if

else if $i \in J_s$ **then**

$t[i, j] \leftarrow s + \alpha \times t[i, j]$

else if $i \in J_B$ **then**

$t[i, j] \leftarrow s + \min\{1, \alpha\} \times t[i, j]$

else

$t[i, j] \leftarrow \min\{1, \alpha\} \times t[i, j]$

end if

end for

end for

// Puis on applique un plus court chemin pour obtenir les temps d'arrivé extrêmes aux sommets.

$infU, supU \leftarrow \text{Tableau}(taille = n), \text{Tableau}(taille = n)$

for $i \in V$ **do**

$infU[i] \leftarrow \text{coutTotal}(\text{plusCourtChemin}(\text{depart} = 0, \text{arrivee} = i, \text{graphe} = t))$

$supU[i] \leftarrow T - \text{coutTotal}(\text{plusCourtChemin}(\text{depart} = i, \text{arrivee} = n+1, \text{graphe} = t))$

if $0 > infU[i] \vee 0 > supU[i]$ **then**

`println("Le client i n'est pas desserviable dans sa fenêtre horaire.")`

end if

end for

return $infU, supU$

Suivant le même état d'esprit, pour la contrainte (19) :

$$u_j \geq u_i + \alpha \times t_{ij} + s - M(1 - x_{ij}^S) \quad \forall i, j \in V \quad (35)$$

On peut se servir des $supU$ calculé précédemment pour raffiner le big M et aider la résolution :

$$M_j = supU_j \quad \forall j \in V \quad (36)$$

3.3 Description succinctes des instances

12 instances sont données pour le projet. La notation fournie dans les fichiers a été reprise sans modifications dans l'implémentation. N correspond au nombre de clients, P correspond au nombre de parking etc...

Les premières expérimentations ont été effectuées sur les paramètres basiques suivants:

- $Q = 400$
- $\alpha = 2$
- $T = 32400sec.$
- Time window width $\delta = 7200sec.$
- Service duration $s_i = 300sec., \forall i \in J.$

4 Experimentations

Voici les résultats lancés avec la modélisation donnée sans les inégalités valides que nous avons créées, pour le solveur Gurobi :

Numéro	Objectif	Temps (s)
1	4342.3	0.21761298179626465
2	3850.4	0.15181589126586914
3	4149.3	0.14584779739379883
4	5366.8	5.888123035430908
5	3099.0	0.4561309814453125
6	7608.1	3.3751609325408936
7	INFAISABLE	0.008960962295532227
8	6480.6	0.07771086692810059
9	9726.9	2.313339948654175
10	8348.9	2.798269033432007
11	5441.7	0.7048790454864502
12	8828.7	1.8415329456329346

Les expérimentations sont effectuées sur une machine moyenne :

Mémoire 3.7G

CPU Intel® Core™ i3-7130U CPU @ 2.70GHz × 4

GPU Intel® HD Graphics 620

La commande dans l'interpréteur julia pour lancer toutes les expérimentations est :

```
include("main.jl")
```

Pour une résolution basique :

```
main()
```

Pour une résolution avec inégalité valides :

```
main(inegv=true)
```

Pour une résolution avec variation des paramètres :

```
main(testparam=true)
```

On observe que toutes les instances sont résolues en moins de 10 sec sauf la 7. En effet en relachant les contraintes de fenêtres de temps, l'instance deviens possible donc on en conclus que c'est la contrainte qui rend le problème infaisable.

On note aussi un temps de résolution bien plus grand sur Cbc que sur Gurobi. On peut supposer que c'est le prétraitement de Gurobi qui fais la différence.

4.1 Comparaison entre modèle initial et amélioré

Propose some experiments to compare models, evaluate if valid inequalities are useful, etc...

Oui les inégalités valides sont utiles, en particulier le raffinement du big M . Parce qu'en pratique, à moins d'avoir des fenêtres de livraison très larges et des distances très disparates, les bornes sur les dates d'arrivées ne sont pas beaucoup resserées. Mais cela ne fonctionne que pour le solveur Cbc. Pour Gurobi, les temps de résolution sont semblables. On suppose que cela est dû au prétraitement conséquent de Gurobi.

Exemple de prétraitement de Gurobi :

Presolved: 468 rows, 310 columns, 4015 nonzeros

Les résultats avec les inégalités valides pour Gurobi sont présentés dans le tableau suivant :

Numéro	Objectif	Temps	Nombre de contraintes améliorées
1	4342.3	0.2818129062652588	30
2	3850.4	0.16315793991088867	29
3	4149.3	0.2523989677429199	37
4	5366.8	6.44225001335144	43
5	3099.0	0.5095958709716797	39
6	7608.1	4.846351861953735	41
7	INFAISABLE	0.009133100509643555	31
8	6480.6	0.10834717750549316	28
9	9726.9	4.348297834396362	38
10	8348.9	1.8340590000152588	42
11	5441.7	1.1961300373077393	38
12	8828.7	4.1215667724609375	41

4.2 Méthodologie de l'expérimentation numérique

Pour évaluer l'influence des paramètres, on a résolu toutes les instances en Gurobi en variant individuellement les paramètres suivant dans :

- $\alpha \in \{1/2, 1, 2, 3, 5\}$: le coefficient entre les temps de trajet du petit et du gros véhicule.
- $Q \in \{200, 400, 600, 800\}$: la capacité du petit véhicule.

- $s \in \{100, 200, 300, 400, 500\}$: le temps de livraison aux clients.
- $\delta \in \{3000, 5000, 7200, 10000, 14400\}$: la fenêtre de temps pour livrer les clients.

Cela a été effectué sur la même machine que précédemment (partie 4), en utilisant toujours Gurobi aussi. Les résultats intéressants sont reportés dans la partie suivante.

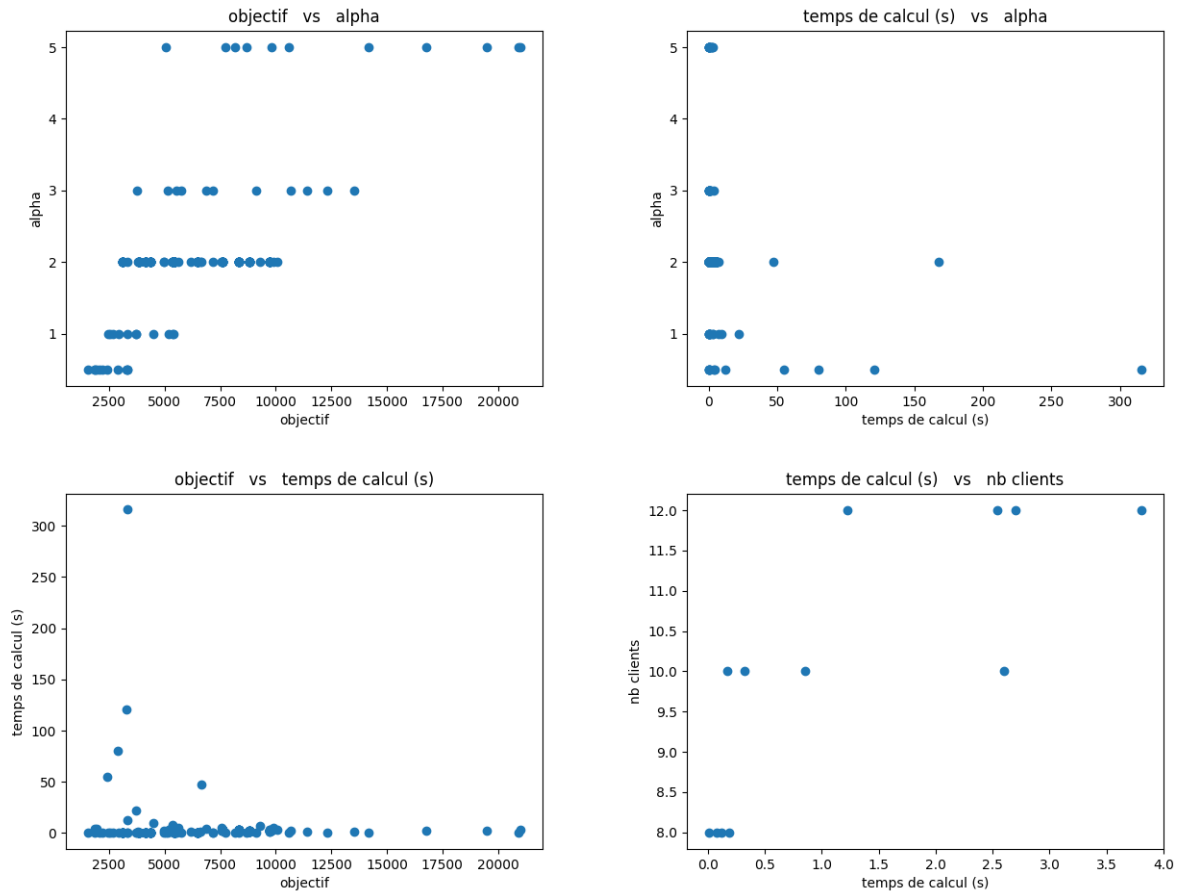
4.3 Influences des paramètres sur la solution

On a tracé quelques graphes pour aider à mieux cerner l'influence des paramètres des instances sur la solution optimale. Les graphiques résultants sont reportés figure 2, page 12.

Notre principale trouvaille est que le paramètre α (la vitesse relative du petit véhicule par rapport au grand) influe quasi-linéairement sur la valeur de l'objectif, mais au prix de temps de calculs potentiellement plus long.

Hormis ces temps de calcul anormalement élevés dûs aux petits α , les autres paramètres influent relativement peu sur le temps de calcul ainsi que sur la valeur de la fonction objectif. En revanche il croît avec le nombre de clients à desservir (et donc avec la taille de l'instance, ce qui est logique).

Figure 2: Résultats intéressants des expérimentations numériques



5 Annexe

5.1 Résultats de la variation de paramètres

Numéro	Objectif	Temps (s)	alpha	Q	s	delta
1	2062.9	0.8803980350494385	0.5	400.0	300.0	7200.0
2	1530.7000000000003	0.2328658103942871	0.5	400.0	300.0	7200.0
3	1942.4	4.157748222351074	0.5	400.0	300.0	7200.0
4	2426.35	64.31932806968689	0.5	400.0	300.0	7200.0
5	1842.8500000000001	4.033679962158203	0.5	400.0	300.0	7200.0
6	2879.9	79.4100649356842	0.5	400.0	300.0	7200.0
7	NAN	0.00992894172668457	0.5	400.0	300.0	7200.0
8	2196.3500000000004	0.20626497268676758	0.5	400.0	300.0	7200.0
9	3344.0	12.52672290802002	0.5	400.0	300.0	7200.0
10	3326.05	317.3770442008972	0.5	400.0	300.0	7200.0
11	1858.95	0.6747450828552246	0.5	400.0	300.0	7200.0
12	3282.8500000000004	120.37100791931152	0.5	400.0	300.0	7200.0
Numéro	Objectif	Temps (s)	alpha	Q	s	delta
1	2926.5	0.40468382835388184	1.0	400.0	300.0	7200.0
2	2543.2	0.16603612899780273	1.0	400.0	300.0	7200.0
3	2685.8	0.24898791313171387	1.0	400.0	300.0	7200.0
4	3706.0	21.593291997909546	1.0	400.0	300.0	7200.0
5	2442.8999999999996	0.6768209934234619	1.0	400.0	300.0	7200.0
6	4470.7	9.92108702659607	1.0	400.0	300.0	7200.0
7	NAN	0.008033990859985352	1.0	400.0	300.0	7200.0
8	3724.8	0.13414978981018066	1.0	400.0	300.0	7200.0
9	5388.0	3.2237977981567383	1.0	400.0	300.0	7200.0
10	5167.8	3.1674880981445312	1.0	400.0	300.0	7200.0
11	3306.0	0.7687211036682129	1.0	400.0	300.0	7200.0
12	5354.9000000000001	7.633764982223511	1.0	400.0	300.0	7200.0
Numéro	Objectif	Temps (s)	alpha	Q	s	delta
1	5414.7000000000001	0.5250511169433594	2.0	200.0	300.0	7200.0
2	3850.3999999999996	0.16437506675720215	2.0	200.0	300.0	7200.0
3	5597.6	4.775679111480713	2.0	200.0	300.0	7200.0
4	6670.0	47.48653793334961	2.0	200.0	300.0	7200.0
5	3813.3999999999996	1.1688730716705322	2.0	200.0	300.0	7200.0
6	NAN	168.13822412490845	2.0	200.0	300.0	7200.0
7	NAN	0.006838083267211914	2.0	200.0	300.0	7200.0
8	7173.1	0.1699080467224121	2.0	200.0	300.0	7200.0
9	10060.7	3.519291877746582	2.0	200.0	300.0	7200.0
10	9286.5	7.062714099884033	2.0	200.0	300.0	7200.0
11	6183.499999999999	1.3802580833435059	2.0	200.0	300.0	7200.0
12	9891.8	5.380312919616699	2.0	200.0	300.0	7200.0

Numéro	Objectif	Temps (s)	alpha	Q	s	delta
1	4342.299999999999	0.18663311004638672	2.0	400.0	100.0	7200.0
2	3850.3999999999996	0.15381288528442383	2.0	400.0	100.0	7200.0
3	4149.299999999999	0.13858795166015625	2.0	400.0	100.0	7200.0
4	5366.799999999999	5.04931902885437	2.0	400.0	100.0	7200.0
5	3099.0	0.2534971237182617	2.0	400.0	100.0	7200.0
6	7581.599999999999	2.1637110710144043	2.0	400.0	100.0	7200.0
7	NAN	0.006652116775512695	2.0	400.0	100.0	7200.0
8	6480.599999999999	0.06858992576599121	2.0	400.0	100.0	7200.0
9	9726.9	2.327838897705078	2.0	400.0	100.0	7200.0
10	8348.9	1.1536579132080078	2.0	400.0	100.0	7200.0
11	5441.7	0.792229175567627	2.0	400.0	100.0	7200.0
12	8828.7	2.188814878463745	2.0	400.0	100.0	7200.0
Numéro	Objectif	Temps (s)	alpha	Q	s	delta
1	4342.299999999999	0.29831814765930176	2.0	400.0	200.0	7200.0
2	3850.3999999999996	0.12196588516235352	2.0	400.0	200.0	7200.0
3	4149.299999999999	0.11391401290893555	2.0	400.0	200.0	7200.0
4	5366.799999999999	5.848298072814941	2.0	400.0	200.0	7200.0
5	3099.0	0.352816104888916	2.0	400.0	200.0	7200.0
6	7608.099999999999	2.4280710220336914	2.0	400.0	200.0	7200.0
7	NAN	0.006541013717651367	2.0	400.0	200.0	7200.0
8	6480.599999999999	0.07407712936401367	2.0	400.0	200.0	7200.0
9	9726.9	2.938364028930664	2.0	400.0	200.0	7200.0
10	8348.9	2.0375940799713135	2.0	400.0	200.0	7200.0
11	5441.7	1.0557730197906494	2.0	400.0	200.0	7200.0
12	8828.7	1.6136648654937744	2.0	400.0	200.0	7200.0
Numéro	Objectif	Temps (s)	alpha	Q	s	delta
1	4342.299999999999	0.23300695419311523	2.0	400.0	300.0	10000.0
2	3850.3999999999996	0.1501331329345703	2.0	400.0	300.0	10000.0
3	4149.299999999999	0.14604520797729492	2.0	400.0	300.0	10000.0
4	5366.799999999999	5.88639497756958	2.0	400.0	300.0	10000.0
5	3099.0	0.4570960998535156	2.0	400.0	300.0	10000.0
6	7608.099999999999	3.3941650390625	2.0	400.0	300.0	10000.0
7	NAN	0.0086669921875	2.0	400.0	300.0	10000.0
8	6480.599999999999	0.07764911651611328	2.0	400.0	300.0	10000.0
9	9726.9	2.300137996673584	2.0	400.0	300.0	10000.0
10	8348.9	2.8243489265441895	2.0	400.0	300.0	10000.0
11	5441.7	0.7071149349212646	2.0	400.0	300.0	10000.0
12	8828.7	1.8156189918518066	2.0	400.0	300.0	10000.0

Numéro	Objectif	Temps (s)	alpha	Q	s	delta
1	4342.299999999999	0.2547450065612793	2.0	400.0	300.0	14400.0
2	3850.3999999999996	0.1498708724975586	2.0	400.0	300.0	14400.0
3	4149.299999999999	0.14387106895446777	2.0	400.0	300.0	14400.0
4	5366.799999999999	5.81693696975708	2.0	400.0	300.0	14400.0
5	3099.0	0.45098114013671875	2.0	400.0	300.0	14400.0
6	7608.099999999999	3.3602139949798584	2.0	400.0	300.0	14400.0
7	NAN	0.007719993591308594	2.0	400.0	300.0	14400.0
8	6480.599999999999	0.07658815383911133	2.0	400.0	300.0	14400.0
9	9726.9	2.299896001815796	2.0	400.0	300.0	14400.0
10	8348.9	2.7901999950408936	2.0	400.0	300.0	14400.0
11	5441.7	0.7016050815582275	2.0	400.0	300.0	14400.0
12	8828.7	1.8353970050811768	2.0	400.0	300.0	14400.0

Numéro	Objectif	Temps (s)	alpha	Q	s	delta
1	4342.299999999999	0.20448684692382812	2.0	400.0	300.0	3000.0
2	3850.3999999999996	0.15017104148864746	2.0	400.0	300.0	3000.0
3	4149.299999999999	0.144989013671875	2.0	400.0	300.0	3000.0
4	5366.799999999999	5.871729850769043	2.0	400.0	300.0	3000.0
5	3099.0	0.4586048126220703	2.0	400.0	300.0	3000.0
6	7608.099999999999	3.3639369010925293	2.0	400.0	300.0	3000.0
7	NAN	0.00947713851928711	2.0	400.0	300.0	3000.0
8	6480.599999999999	0.07725095748901367	2.0	400.0	300.0	3000.0
9	9726.9	2.2997989654541016	2.0	400.0	300.0	3000.0
10	8348.9	2.824268102645874	2.0	400.0	300.0	3000.0
11	5441.7	0.7057759761810303	2.0	400.0	300.0	3000.0
12	8828.7	1.8151321411132812	2.0	400.0	300.0	3000.0

Numéro	Objectif	Temps (s)	alpha	Q	s	delta
1	4342.299999999999	0.24437904357910156	2.0	400.0	300.0	5000.0
2	3850.3999999999996	0.15050196647644043	2.0	400.0	300.0	5000.0
3	4149.299999999999	0.14334607124328613	2.0	400.0	300.0	5000.0
4	5366.799999999999	5.817065000534058	2.0	400.0	300.0	5000.0
5	3099.0	0.44074392318725586	2.0	400.0	300.0	5000.0
6	7608.099999999999	3.3611090183258057	2.0	400.0	300.0	5000.0
7	NAN	0.009423017501831055	2.0	400.0	300.0	5000.0
8	6480.599999999999	0.07642602920532227	2.0	400.0	300.0	5000.0
9	9726.9	2.2971510887145996	2.0	400.0	300.0	5000.0
10	8348.9	2.8095860481262207	2.0	400.0	300.0	5000.0
11	5441.7	0.729809045791626	2.0	400.0	300.0	5000.0
12	8828.7	1.8267178535461426	2.0	400.0	300.0	5000.0

Numéro	Objectif	Temps (s)	alpha	Q	s	delta
1	4342.299999999999	0.23096680641174316	2.0	400.0	300.0	7200.0
2	3850.3999999999996	0.14876103401184082	2.0	400.0	300.0	7200.0
3	4149.299999999999	0.14298510551452637	2.0	400.0	300.0	7200.0
4	5366.799999999999	5.864333152770996	2.0	400.0	300.0	7200.0
5	3099.0	0.4338490962982178	2.0	400.0	300.0	7200.0
6	7608.099999999999	3.352245807647705	2.0	400.0	300.0	7200.0
7	NAN	0.006781816482543945	2.0	400.0	300.0	7200.0
8	6480.599999999999	0.0801081657409668	2.0	400.0	300.0	7200.0
9	9726.9	2.2916018962860107	2.0	400.0	300.0	7200.0
10	8348.9	2.8508548736572266	2.0	400.0	300.0	7200.0
11	5441.7	0.7091290950775146	2.0	400.0	300.0	7200.0
12	8828.7	1.841864824295044	2.0	400.0	300.0	7200.0
Numéro	Objectif	Temps (s)	alpha	Q	s	delta
1	4342.299999999999	0.18903517723083496	2.0	400.0	400.0	7200.0
2	3850.3999999999996	0.14458584785461426	2.0	400.0	400.0	7200.0
3	4149.299999999999	0.16562700271606445	2.0	400.0	400.0	7200.0
4	5366.799999999999	4.478445053100586	2.0	400.0	400.0	7200.0
5	3099.0	0.3815150260925293	2.0	400.0	400.0	7200.0
6	7608.099999999999	2.5613460540771484	2.0	400.0	400.0	7200.0
7	NAN	0.009247064590454102	2.0	400.0	400.0	7200.0
8	6480.599999999999	0.07414579391479492	2.0	400.0	400.0	7200.0
9	9726.9	1.1952879428863525	2.0	400.0	400.0	7200.0
10	8348.9	2.611867904663086	2.0	400.0	400.0	7200.0
11	5441.7	0.8616430759429932	2.0	400.0	400.0	7200.0
12	8828.7	1.5706899166107178	2.0	400.0	400.0	7200.0
Numéro	Objectif	Temps (s)	alpha	Q	s	delta
1	4342.299999999999	0.1448230743408203	2.0	400.0	500.0	7200.0
2	3850.3999999999996	0.10192394256591797	2.0	400.0	500.0	7200.0
3	4149.299999999999	0.12959980964660645	2.0	400.0	500.0	7200.0
4	5366.799999999999	4.203810214996338	2.0	400.0	500.0	7200.0
5	3326.8	0.40852808952331543	2.0	400.0	500.0	7200.0
6	7608.099999999999	2.1497349739074707	2.0	400.0	500.0	7200.0
7	NAN	0.016801834106445312	2.0	400.0	500.0	7200.0
8	6480.599999999999	0.06661605834960938	2.0	400.0	500.0	7200.0
9	9726.9	1.9842400550842285	2.0	400.0	500.0	7200.0
10	8348.9	2.479775905609131	2.0	400.0	500.0	7200.0
11	5441.7	0.3286609649658203	2.0	400.0	500.0	7200.0
12	8828.7	1.622770071029663	2.0	400.0	500.0	7200.0

Numéro	Objectif	Temps (s)	alpha	Q	s	delta
1	4342.299999999999	0.16243505477905273	2.0	600.0	300.0	7200.0
2	3850.3999999999996	0.12046504020690918	2.0	600.0	300.0	7200.0
3	4149.299999999999	0.1270430088043213	2.0	600.0	300.0	7200.0
4	4947.1	0.7546679973602295	2.0	600.0	300.0	7200.0
5	3099.0	0.7004508972167969	2.0	600.0	300.0	7200.0
6	7580.199999999999	4.809576034545898	2.0	600.0	300.0	7200.0
7	NAN	0.014190196990966797	2.0	600.0	300.0	7200.0
8	6480.599999999999	0.09302210807800293	2.0	600.0	300.0	7200.0
9	9726.9	2.774022102355957	2.0	600.0	300.0	7200.0
10	8348.9	0.7823779582977295	2.0	600.0	300.0	7200.0
11	5441.7	0.9373979568481445	2.0	600.0	300.0	7200.0
12	8828.7	2.2622179985046387	2.0	600.0	300.0	7200.0

Numéro	Objectif	Temps (s)	alpha	Q	s	delta
1	4342.299999999999	0.24010801315307617	2.0	800.0	300.0	7200.0
2	3850.3999999999996	0.12638187408447266	2.0	800.0	300.0	7200.0
3	4149.299999999999	0.1319139003753662	2.0	800.0	300.0	7200.0
4	4947.1	2.15493106842041	2.0	800.0	300.0	7200.0
5	3099.0	0.2220609188079834	2.0	800.0	300.0	7200.0
6	6618.699999999999	0.9227120876312256	2.0	800.0	300.0	7200.0
7	NAN	0.00704193115234375	2.0	800.0	300.0	7200.0
8	6480.599999999999	0.08686399459838867	2.0	800.0	300.0	7200.0
9	9726.9	1.6176650524139404	2.0	800.0	300.0	7200.0
10	8348.9	2.1000449657440186	2.0	800.0	300.0	7200.0
11	5441.7	0.2648959159851074	2.0	800.0	300.0	7200.0
12	8828.7	1.7754530906677246	2.0	800.0	300.0	7200.0

Numéro	Objectif	Temps (s)	alpha	Q	s	delta
1	5758.099999999999	0.1201639175415039	3.0	400.0	300.0	7200.0
2	5157.6	0.047631025314331055	3.0	400.0	300.0	7200.0
3	5543.299999999999	0.11196088790893555	3.0	400.0	300.0	7200.0
4	6847.5	3.911661148071289	3.0	400.0	300.0	7200.0
5	3755.1	0.20445609092712402	3.0	400.0	300.0	7200.0
6	10690.9	2.0280210971832275	3.0	400.0	300.0	7200.0
7	NAN	0.01158595085144043	3.0	400.0	300.0	7200.0
8	9133.199999999999	0.11371517181396484	3.0	400.0	300.0	7200.0
9	13524.8	0.9564990997314453	3.0	400.0	300.0	7200.0
10	11406.599999999999	1.016526222229004	3.0	400.0	300.0	7200.0
11	7165.7	0.6661739349365234	3.0	400.0	300.0	7200.0
12	12302.5	0.693134069442749	3.0	400.0	300.0	7200.0

Numéro	Objectif	Temps (s)	alpha	Q	s	delta
1	8700.400000000001	0.08963298797607422	5.0	400.0	300.0	7200.0
2	7749.4	0.0492100715637207	5.0	400.0	300.0	7200.0
3	8171.799999999999	0.09604191780090332	5.0	400.0	300.0	7200.0
4	9808.899999999998	2.446506977081299	5.0	400.0	300.0	7200.0
5	5067.299999999999	0.1583080291748047	5.0	400.0	300.0	7200.0
6	16768.3	1.9221570491790771	5.0	400.0	300.0	7200.0
7	NAN	0.006506204605102539	5.0	400.0	300.0	7200.0
8	14172.499999999998	0.04565715789794922	5.0	400.0	300.0	7200.0
9	20919.4	0.580657958984375	5.0	400.0	300.0	7200.0
10	19505.4	2.412662982940674	5.0	400.0	300.0	7200.0
11	10595.7	0.8281998634338379	5.0	400.0	300.0	7200.0
12	21028.8	3.3867578506469727	5.0	400.0	300.0	7200.0