

# OPTIMISATION DES TOURNÉES DE RAMASSAGE SCOLAIRE DE LA COMMUNE DE SENEFFE

Laurie Hollaert

Séminaire GRT

7 novembre

# Table des matières

- 1 Introduction
- 2 Cadre général
- 3 Objectifs & Contraintes
- 4 Problème de tournées de véhicules
- 5 Algorithme
- 6 Résultats
- 7 Conclusion
- 8 Perspectives
- 9 Références

La commune de Seneffe organise et prend en charge les transports scolaires. Ces transports scolaires permettent d'amener les classes des écoles de la commune de Seneffe vers un centre sportif et inversement.

**optimiser les transports  
scolaires**

- 1 Introduction
- 2 Cadre général**
- 3 Objectifs & Contraintes
- 4 Problème de tournées de véhicules
- 5 Algorithme
- 6 Résultats
- 7 Conclusion
- 8 Perspectives
- 9 Références

# Cadre général

## Localisation

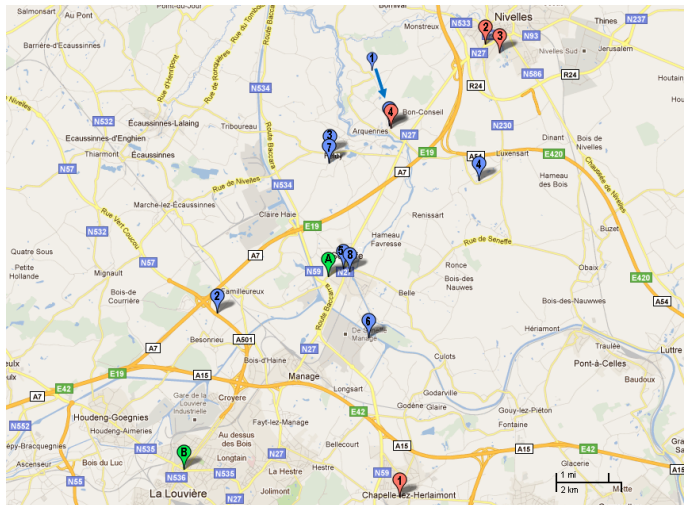
### Localisation de la commune de Seneffe



La commune de Seneffe compte :

- ▶ 8 écoles
- ▶ 5 centres sportifs dont 3 centres de natation et 2 centres de gymnastique
- ▶ 2 dépôts de bus

### Localisation des écoles, des centres sportifs et des dépôts de bus



### Tournée

Itinéraire d'un bus qui part d'un dépôt, qui visite ensuite au minimum une école et un centre sportif et qui retourne à la fin vers le dépôt initial.



### Tournées du lundi pour l'année 2010-2011

Jour	AM/ PM	Bus	Classe	Nbre d'élèves	École	Centre sportif	Activité	Début activité	Fin acti- vité
Lundi	AM	Bus 1	PR_M3	26	PR	Arqgym	GYM	10h10	12h00
Lundi	AM	Bus 1	PR_P2P3	18	PR	FC	GYM	10h20	11h20
Lundi	PM	Bus 1	FX_P3A + P4A	48	FX	Chapelle	NAT	13h20	14h20
Lundi	PM	Bus 1	FX_P3P4F + P5P6F	52	FX	Chapelle	NAT	14h10	15h20
Lundi	PM	Bus 2	FX_P1A +P2A	54	FX	Quinot	NAT	13h00	14h00
Lundi	PM	Ext 1	S2_P2P3P4	34	SES	Chapelle	NAT	14h10	15h20

Données :

- Le nombre de classes qui doit se rendre à un centre sportif
- Le nombre d'élèves (et l'école) de chaque classe
- Les tranches horaires accordées à la commune de Seneffe (horaire et capacité maximale)
- La localisation des centres sportifs, des écoles et des dépôts de bus

Pour l'année 2010-2011, chaque semaine,

- 16 tournées effectuées par les bus communaux et 6 tournées effectuées par les bus extérieurs sont nécessaires pour véhiculer l'ensemble des classes
- les bus parcourent un total de 1225,3 kilomètres
- 30 tranches horaires sont louées par la commune de Seneffe

- 1 Introduction
- 2 Cadre général
- 3 Objectifs & Contraintes**
- 4 Problème de tournées de véhicules
- 5 Algorithme
- 6 Résultats
- 7 Conclusion
- 8 Perspectives
- 9 Références

## Objectifs de la commune de Seneffe

- Minimisation du nombre de tournées effectuées par les bus extérieurs
- Minimisation de la distance totale parcourue
- Minimisation du nombre de plages horaires louées

# Objectifs

Minimisation du nombre de tournées effectuées par les bus extérieurs

Influencée par :

- ▶ La distance totale parcourue
- ▶ La prise en charge simultanée de deux classes

# Objectifs

Minimisation de la distance totale parcourue

Influencée par :

- ▶ L'attribution des centres sportifs à chaque école
- ▶ La prise en charge simultanée de deux classes
- ▶ Le choix du bus

# Objectifs

Minimisation de la distance totale parcourue

## L'attribution des centres sportifs à chaque école

	Arq	Fx	FC	PR	Mar	SES	LF	LS	Chap	Quinot	Dodaine	Arqgym
Arq	0	16	6	8	7	12	6	8	18	8	10	1
Fx	16	0	12	19	9	13	12	10	12	14	17	15
FC	6	12	0	10	7	14	1	8	18	9	12	6
PR	8	19	10	0	10	15	10	11	21	9	11	7
Mar	7	9	7	10	0	6	8	1	12	10	12	7
SES	12	13	14	15	6	0	13	6	9	15	17	12
LF	6	12	1	10	8	13	0	9	18	10	12	6
LS	8	10	8	11	1	6	9	0	13	10	12	7
Chap	18	12	18	21	12	9	17	13	0	19	22	16
Quinot	8	14	9	9	10	15	10	10	19	0	3	6
Dodaine	10	17	12	11	12	17	12	12	22	3	0	9
Arqgym	1	15	6	7	7	12	6	7	16	6	9	0

**TABLE:** Temps (minutes) calculé via Google Maps pour se rendre d'un endroit à un autre



# Objectifs

## Minimisation de la distance totale parcourue

	Arq	Fx	FC	PR	Mar	SES	LF	LS	Chap	Quinot	Dodaine	Arqgym
Arq	0	10	2.4	4.2	5.2	8	2.6	5.3	13.8	4.7	6	0.2
Fx	10	0	8	12.8	5	8.5	6.8	5.3	11.8	16.9	18.1	10
FC	2.4	8	0	6.2	6.1	9	0.3	6.2	12.9	6.6	7.9	2.8
PR	4.2	12.8	6.2	0	7.6	10.4	6	7.7	12.6	5.4	6.7	3.9
Mar	5.2	5	6.1	7.6	0	2.9	5.1	0.3	8.8	8.3	9.6	5.1
SES	8	8.5	9	10.4	2.9	0	8.6	2.8	6.2	12.9	14.1	9.6
LF	2.6	6.8	0.3	6	5.1	8.6	0	6.4	13	6.8	8	2.9
LS	5.3	5.3	6.2	7.7	0.3	2.8	6.4	0	8.9	8.5	9.7	5.2
Chap	13.8	11.3	12.9	12.6	8.8	6.2	12.6	8.9	0	16.9	18.1	13.6
Quinot	4.7	16.9	6.6	5.4	8.3	12.9	6.8	8.5	16.9	0	1.5	4.1
Dodaine	6	18.1	7.9	6.7	9.6	14.1	8	9.7	18.1	1.5	0	5.4
Arqgym	0.2	10	2.8	3.9	5.1	9.6	2.9	5.2	13.6	4.1	5.4	0

**TABLE:** Distance (kilomètres) calculée via Google Maps pour se rendre d'un endroit à un autre

Même si la piscine Dodaine est située spatialement et temporellement plus loin, nous continuerons tout de même à lui attribuer des classes pour une question d'aménagement, d'horaire et de places.

# Objectifs

Minimisation de la distance totale parcourue

L'attribution des centres sportifs aux écoles a été réalisée à partir

- du temps et de la distance séparant l'école au centre sportif
- de l'ancienne attribution (pour ne pas trop déranger nos données de base)

Exemple : si 390 élèves se rendaient à la piscine Quinot pour l'année 2010-2011, nous essaierons de nous rapprocher le plus possible de ce chiffre.

# Objectifs

Minimisation du nombre de plages horaires louées

Influencée par :

- ▶ La maximisation du nombre d'élèves par tranche horaire

Remarque : Nous avons considéré que nous pouvons augmenter de 10 le nombre d'élèves par tranche horaire par rapport à nos données initiales.

## Contraintes

- Le nombre d'élèves de chaque classe
- La capacité maximale des bus communaux et extérieurs
- L'attribution d'une activité sportive à une certaine classe
- L'heure des tranches horaires
- La capacité maximale des tranches horaires
- Le nombre maximal de bus par demi-journée (2 bus communaux et 2 bus extérieurs)

## Modifiable

- L'endroit, l'heure et le jour de l'activité pratiquée par une classe
- L'horaire des professeurs

- 1 Introduction
- 2 Cadre général
- 3 Objectifs & Contraintes
- 4 Problème de tournées de véhicules**
- 5 Algorithme
- 6 Résultats
- 7 Conclusion
- 8 Perspectives
- 9 Références

## Problème du voyageur de commerce (TSP)

Élaborer une tournée en minimisant la distance parcourue pour un voyageur souhaitant visiter un certain nombre de villes sachant que ce dernier doit passer exactement une seule fois dans chaque ville et doit revenir au point de départ.

# Problème de tournées de véhicules

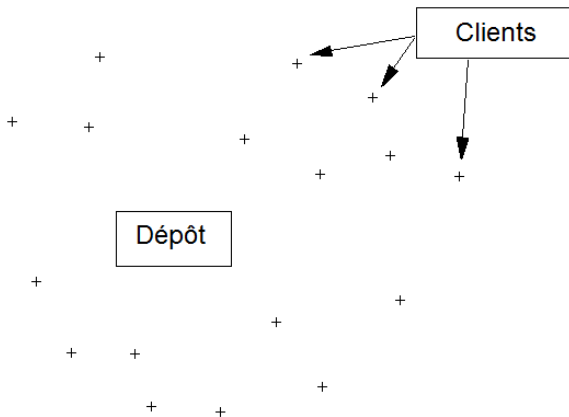
## Problème de tournées de véhicules (VRP)

Élaborer un ensemble de tournées en minimisant la distance parcourue et parfois même le nombre de véhicules sous certaines contraintes :

- Chaque véhicule a une certaine capacité
- Chaque client a une demande déterminée et est visité une seule fois
- Chaque tournée démarre du dépôt et se termine au point de départ

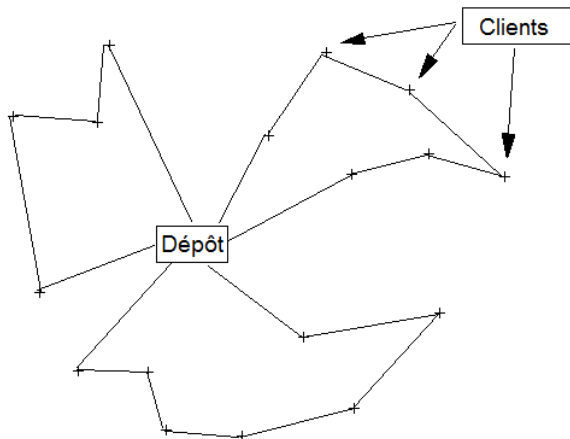
⇒ Le problème de tournées de véhicules est donc une extension du problème du voyageur de commerce

# Problème de tournées de véhicules





# Problème de tournées de véhicules



# Problème de tournées de véhicules

## Variante

Variante du VRP particulièrement intéressante dans notre cas :

**Problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps (VRPTW)** où le véhicule doit servir le client dans un intervalle de temps donné que nous appelons une fenêtre de temps

# Problème de tournées de véhicules

## Résolution

Ces problèmes sont de type NP-complets, c'est-à-dire qu'il n'existe aucun algorithme de résolution exacte pouvant résoudre des problèmes de grandes tailles en un temps raisonnable.

Exemple : si nous considérons le TSP avec 40 villes, il faudrait évaluer 40 ! ( $= 8,1598 \times 10^{47}$ ) solutions possibles.

⇒ Différentes méthodes de résolutions possibles dans la littérature

# Problème de tournées de véhicules

## Méthodes de résolution

- **Méthodes exactes** (*Algorithme de Branch and Bound, Backtracking*)
- **Méthodes approchées** appelées heuristiques
  - heuristiques de construction
  - heuristiques d'amélioration
  - métaheuristiques

### Heuristiques de construction

Sélection de clients jusqu'à ce qu'une solution réalisable soit créée

### Avantages et inconvénients

Solution loin d'être optimale (car la sélection des noeuds effectuée lors des itérations précédentes ne peut être remise en question) mais tout de même acceptable. Souvent utilisées en amont des heuristiques d'amélioration et hybridées avec les métaheuristiques

# Problème de tournées de véhicules

## Méthodes de résolution

Exemple : l'heuristique du plus proche voisin

- Commencer chaque nouvelle tournée en cherchant le *client le plus proche* du dépôt
- À chaque itération, cette méthode choisit le client *le plus proche* du dernier client tout en respectant les contraintes de fenêtre de temps et les contraintes de capacité du véhicule
- Lorsqu'il ne reste plus de client satisfaisant ces contraintes, une nouvelle tournée est construite jusqu'à ce que tous les clients soient visités

# Problème de tournées de véhicules

## Méthodes de résolution

### Heuristiques d'amélioration

Méthodes de recherche locale qui partent d'une solution initiale et qui essaient de l'améliorer pas à pas

### Avantages et inconvénients

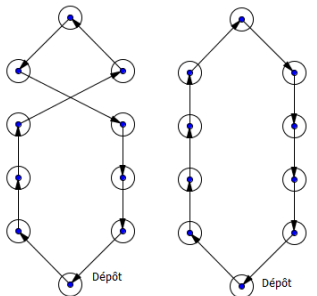
Obtention de meilleurs résultats qu'avec les heuristiques de construction mais explorent surtout l'espace des solutions proches de la solution initiale

# Problème de tournées de véhicules

## Méthodes de résolution

### Exemple : Algorithme r-opt

Cet algorithme démarre d'une tournée initiale et tente d'améliorer la solution en remplaçant, de façon répétée,  $r$  arcs par  $r$  autres arcs.



Tournée initiale

Tournée obtenue après  
l'application de  
l'algorithme 2-Opt



### Métaheuristiques

Les métaheuristiques constituent une classe de méthodes approchées adaptables à un très grand nombre de problèmes d'optimisation combinatoire. "On peut voir la métaheuristique comme une boîte à outils algorithmique, utilisable pour résoudre différents problèmes d'optimisation, et ne nécessitant que peu de modifications pour qu'elle puisse s'adapter à un problème particulier"

### Avantages et inconvénients

Il n'existe pas de métaheuristiques meilleures que d'autres. Chaque métaheuristique a ses propres avantages et inconvénients et doit être choisie en fonction du problème posé.

Quelques critères de comparaison :

- facilité d'adaptation au problème
- qualité des meilleures solutions trouvées
- rapidité, c'est-à-dire temps de calcul nécessaire pour trouver une telle solution

# Problème de tournées de véhicules

## Méthodes de résolution

Exemple : l'algorithme de la recherche Tabou

- ❶ Choisir une solution initiale  $s \in S$  :  
 $s^* = s$  et Liste Tabou  $T = \emptyset$
- ❷ Tant que le critère d'arrêt n'est pas vérifié
  - Générer un sous-ensemble de solutions en voisinage de  $s$  :  
 $V^* \subseteq V(s) - T$
  - Rechercher  $s' \in V^*$  tel que  $f(s') = \min_{x \in V^*} f(x)$
  - Si  $f(s') \leq f(s^*)$  alors  $s^* = s'$
  - Mettre à jour la liste Tabou  $T$

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

Solution avant permutation

1	2	6	4	5	3	7
---	---	---	---	---	---	---

Solution voisine (après permutation)

# Problème de tournées de véhicules

## Difficultés rencontrées

La complexité de notre problème rend cependant impossible l'application directe d'une des méthodes de résolution du VRP.

Difficultés rencontrées :

- ▶ Multiplicité des endroits visités
- ▶ Méconnaissance des fenêtres de temps

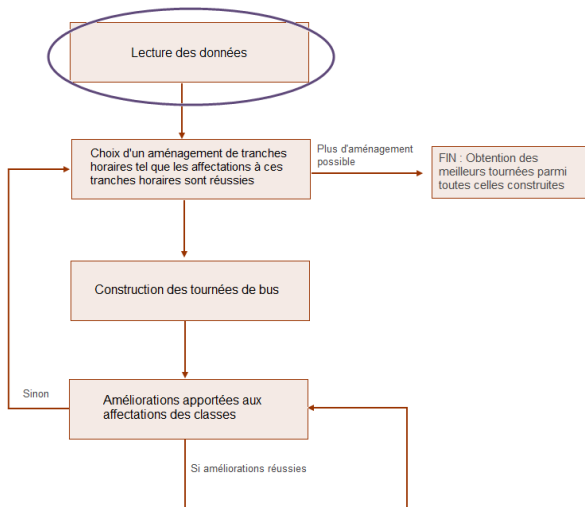
- 1 Introduction
- 2 Cadre général
- 3 Objectifs & Contraintes
- 4 Problème de tournées de véhicules
- 5 Algorithme**
- 6 Résultats
- 7 Conclusion
- 8 Perspectives
- 9 Références

Décomposition de l'algorithme en deux phases pour régler le problème de la méconnaissance des fenêtres de temps :

- ① Attribution des classes aux tranches horaires
- ② Construction des tournées à partir de ces affectations

# Algorithme

## Schéma général



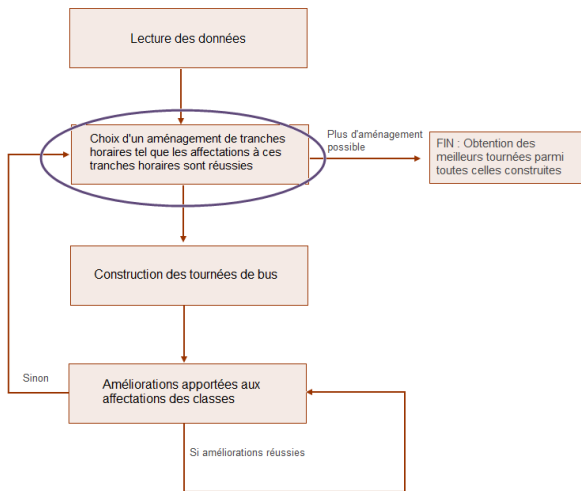
Trois différents types de fichiers :

- Centre Sportif (capacité maximale des tranches horaires, nombre d'élèves et école des classes)
- Demi-journée (capacité maximale des tranches horaires, centre sportif, commencement et fin de la tranche horaire, position de la tranche horaire dans les fichiers "Centre Sportif")
- Distance\_Temps (distance et temps entre un endroit et un autre)



# Algorithme

## Choix d'un aménagement de tranches horaires



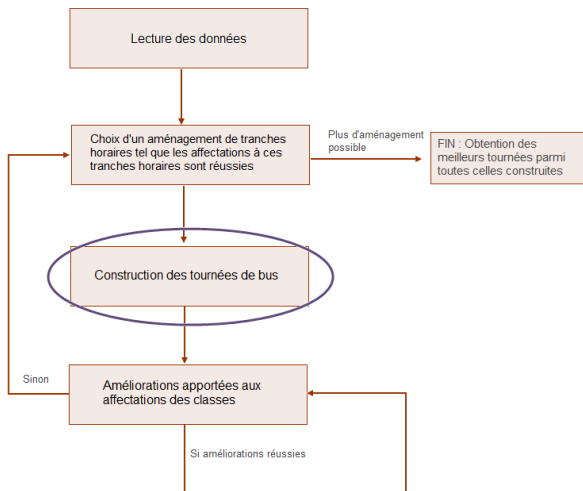
# Algorithme

## Choix d'un aménagement de tranches horaires

- Au tout début, calcul du nombre maximal de tranches horaires que nous pouvons enlever pour chaque centre sportif
- Choix d'un aménagement parmi toutes les combinaisons possibles des tranches horaires
- Affectation des classes à l'aménagement choisi
- Étape suivante si affectation réussie

# Algorithme

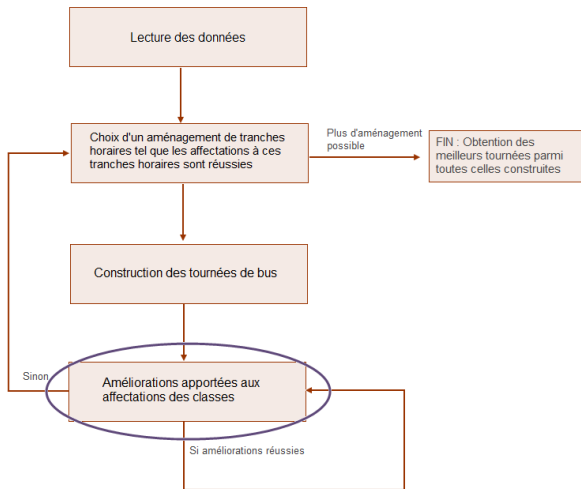
## Construction des tournées de bus



Une fois les fenêtres de temps de chaque classe connues, construction des tournées pour chaque demi-journée en minimisant dans la mesure du possible les tournées effectuées par les bus extérieurs

# Algorithme

## Améliorations

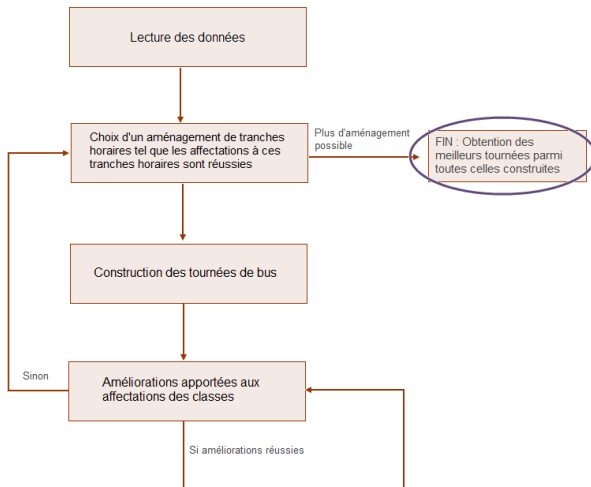


Objectif : véhiculer le plus possible deux classes simultanément

Si diminution du nombre de tournées effectuées par les bus extérieurs ou  
diminution du nombre de kilomètres parcourus  $\Rightarrow$  amélioration réussie

# Algorithme

## Schéma général



- 1 Introduction
- 2 Cadre général
- 3 Objectifs & Contraintes
- 4 Problème de tournées de véhicules
- 5 Algorithme
- 6 Résultats**
- 7 Conclusion
- 8 Perspectives
- 9 Références



Résultats obtenus suite à l'exécution de l'algorithme :

- 16 tournées effectuées par les bus communaux et 4 tournées effectuées par les bus extérieurs
- 1022,2 kilomètres parcourus
- 29 tranches horaires louées

Problème : Comme nous avons permis aux chauffeurs un battement de 20 minutes, certaines classes ne restent parfois qu'un temps réduit sur place  
⇒ Modifications manuelles apportées aisément

Résultats obtenus suite aux modifications manuelles apportées :

- 16 tournées effectuées par les bus communaux et 3 tournées effectuées par les bus extérieurs
- 1017,8 kilomètres parcourus
- 30 tranches horaires louées





- 1 Introduction
- 2 Cadre général
- 3 Objectifs & Contraintes
- 4 Problème de tournées de véhicules
- 5 Algorithme
- 6 Résultats
- 7 Conclusion**
- 8 Perspectives
- 9 Références





Afin de répondre aux objectifs de la commune de Seneffe, nous avons implémenté notre propre algorithme puisque aucune méthode de résolution du VRP ne pouvait être directement applicable. Suite à l'exécution de notre programme et à quelques modifications manuelles apportées, nous avons pu réduire de moitié le nombre de tournées effectuées par les bus extérieurs. Quant à la distance totale parcourue, nous l'avons également diminuée de plus de 200 kilomètres.

⇒ Obtention de résultats très satisfaisants

- 1 Introduction
- 2 Cadre général
- 3 Objectifs & Contraintes
- 4 Problème de tournées de véhicules
- 5 Algorithme
- 6 Résultats
- 7 Conclusion
- 8 Perspectives**
- 9 Références

- Contrainte sur le temps resté au centre sportif
- Minimiser davantage la distance totale parcourue une fois les tournées construites

-  C. REGO ET C. ROUCAILOR, *Le problème de tournées de véhicules : étude et résolution approchée*, N°2197, Unité de recherche INRIA Rocquencourt, Le Chesnay, février 1994, pp. 3-56.
-  B. COURCELL, *Introduction à la théorie des graphes : Définitions, applications et techniques de preuves*, Université de Bordeaux, 2004, pp. 1-5.
-  J. CLAUSEN, *Branch and Bound algorithms : principles and examples*, Département de l'Informatique, Université de Copenhague, mars 1999, p.2-20.
-  J. LYSGAARD, *Clarke and Wright's Savings Algorithm*, Département de Sciences de Gestion et Logistique, The Aarhus School of Business, Septembre 1997.

-  M.I. HOSN, *Investigating Heuristic and Meta-Heuristic Algorithms for solving pickup and delivery problems*, Thèse de doctorat en Philosophie, Université de Cardiff, mars 2010, pp. 44-47.
-  P. MEYER, *Problème de tournées de distribution avec fenêtres de temps et application*, mémoire présenté en Sciences Mathématiques, Université de Liège, 1999, pp. 14-16.
-  V. VACIC ET T.M.SOHB, *Vehicule routing problem with time windows*, Journal scientifique international d'informatique, Université de Bridgeport, 2004.
-  A. FUGENSCHUH ET A. MARTIN, *A multicriteria approach for optimizing bus schedules and school starting times*, Springer Science, Darmstadt, août 2006.



Merci de votre attention

