

SOUTENANCE DE THESE

Stratégies d'optimisation pour le problème intégré de transport et de gestion de stock

Présenté par
Diego Perdigão Martino

Encadré par

Philippe Lacomme	Directeur
Katyanne Farias	Co-encadrante
Manuel Iori	Co-encadrant

Jury

Marie-Ange Manier	Rapporteure
Caroline Prodhon	Rapporteure
Alexandre Xavier Martins	Examineur
Laurent Deroussi	Invité

27 novembre 2024

SOUTENANCE DE THESE

Stratégies d'optimisation pour le problème intégré de transport et de gestion de stock

“Ce travail a bénéficié d’une aide de l’État gérée par l’Agence Nationale de la Recherche au titre du programme “Investissements d’Avenir” dans le cadre du Laboratoire d’Excellence IMobS³ (ANR-10-LABX-0016) et de l’Initiative d’Excellence IDEX-ISITE CAP 20-25 (ANR-16-IDEX-0001).”



Table des matières

1 IRPs

2 IRP/Algorithme itératif

3 HIRP-BS/Métaheuristique

4 Conclusion

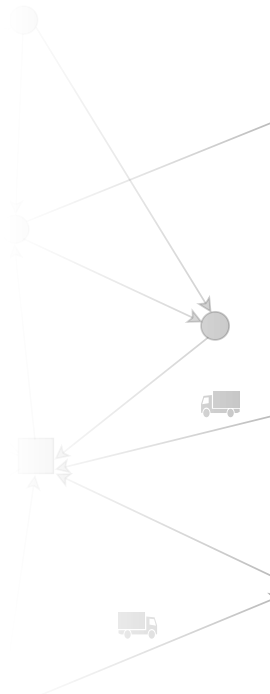


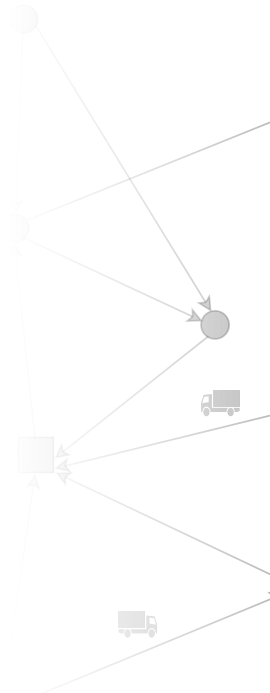
Table des matières

1 IRPs

2 IRP/Algorithme itératif

3 HIRP-BS/Métaheuristique

4 Conclusion



Inventory Routing Problem (IRP)

ROUTAGE

+

STOCK

- flotte de véhicules
- définition des routes
- VRP, HVRP, CVRP ...
- livraisons
- gestion de stock
- IRP, IRPT, Green-IRP ...

HORIZON MULTI-PERIODE : fini et discret

=

IRP

Objectif : résolution conjointe à coût minimale de transport et stock

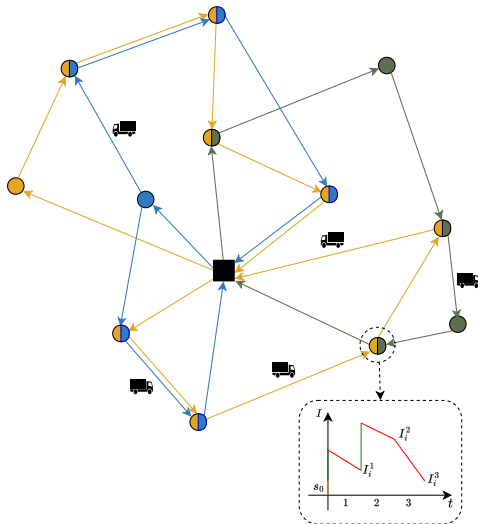
Inventory Routing Problem - Problème de base

Origine

- Bell et al. (1983)
- Gestion de stock de gas industriel
- Planification des tournées

Données

- Un horizon de temps fini
- Un ensemble de clients
- Un seul fournisseur
- Un seul produit
- Coûts et demandes déterministes
- Flotte de véhicules



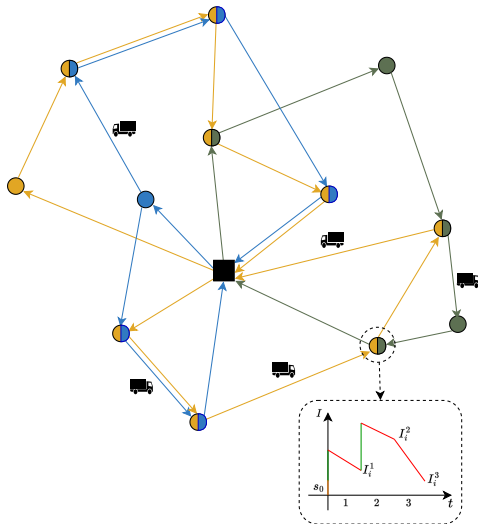
Inventory Routing Problem - Problème de base

Origine

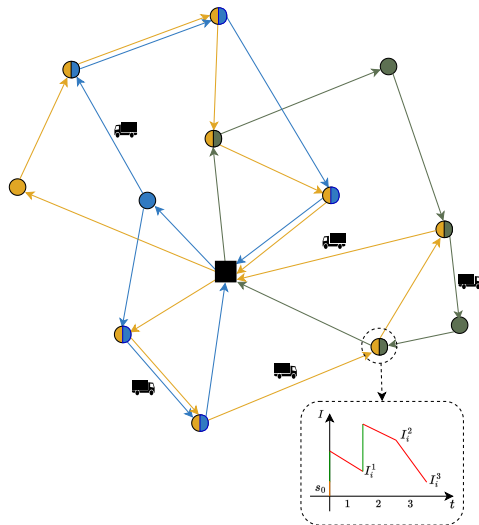
- Bell et al. (1983)
- Gestion de stock de gas industriel
- Planification des tournées

Données

- Un horizon de temps fini
- Un ensemble de clients
- Un seul fournisseur
- Un seul produit
- Coûts et demandes déterministes
- Flotte de véhicules



Inventory Routing Problem



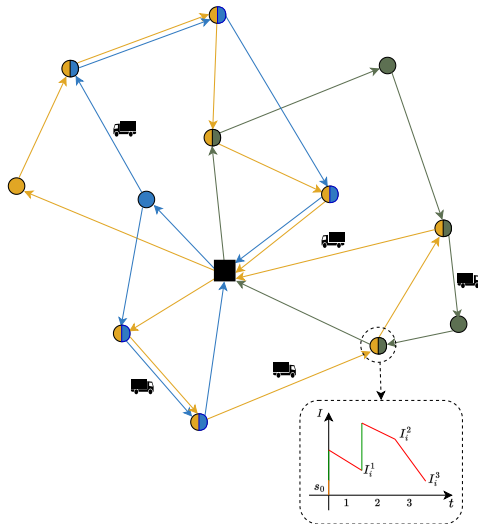
Hypothèses

- ▶ Livraison et demandes
- ▶ *Split delivery* non autorisée
- ▶ Niveaux de stock
- ▶ Quantité produite
- ▶ Capacité des véhicules
- ▶ Réasabilité des tournées

Contraintes

- ▶ Niveaux de stock
- ▶ Quantités à livrer
- ▶ Flux et sous-tours
- ▶ Flotte de véhicules

Inventory Routing Problem



Hypothèses

- ▶ Livraison et demandes
- ▶ *Split delivery* non autorisée
- ▶ Niveaux de stock
- ▶ Quantité produite
- ▶ Capacité des véhicules
- ▶ Réasabilité des tournées

Contraintes

- ▶ Niveaux de stock
- ▶ Quantités à livrer
- ▶ Flux et sous-tours
- ▶ Flotte de véhicules

IRPs et méthodes de résolution

Auteurs	Année	Problème	Méthode
Archetti et al.	2007	IRP	B&C
Aksen et al.	2014	Stochastic IRP	ALNS
Archetti et al.	2020	IRP with Pickup and Delivery	B&C
Manousakis et al.	2021	IRP	B&C
Touzout et al.	2022	Time Dependant IRP	Matheuristique
Skalnes et al.	2024	IRP	Matheuristique + B&C
⋮			

Instances

Nb. Instances ¹		Nb. Instances ²		Nb. Périodes	Nb. Clients	h_i	h_0
160	100	50	500	3	{5, 10, ..., 50}	[0.01 ; 0.05]	0.03
	50	50	250			[0.1 ; 0.5]	0.3
	60	30	150	6	{5, 10, ..., 30}	[0.01 ; 0.05]	0.03
	30	150	150			[0.1 ; 0.5]	0.3

(1) Archetti et al. (2007), (2) Coelho et al. (2012)

Contributions IRP

- ▶ Algorithme itératif
- ▶ Nouvelle variante : **HIRP-BS**

Contributions HIRP-BS

- ▶ Modélisation mathématique
- ▶ Schéma d'optimisation SEMPO
- ▶ Algorithme Split adapté
- ▶ Nouvelles instances

Comparatif

Problème traité	IRP de base	HIRP-BS
Objectif	Minimiser la somme des coûts de stock et de transport	
Coûts de stock	Independants de la période	Dépendants de la période
Coûts de transport	Distance unitaire de déplacement	Distances réelles Fixes et variables selon le véhicule
Demandes	Independants de la période	Dépendants de la période
Véhicules	Homogènes	Hétérogènes Dépendants de la période
Politiques de livraison	ML ¹ , OU ¹ , ZIO ²	ML ¹ + BS

Niveaux de stock

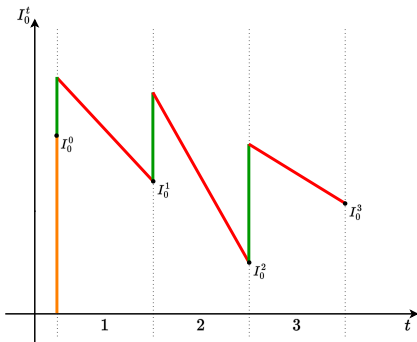
Les niveaux de stock sont exprimés par I_i^t

Pour $t = 0$: stock de départ

Pour $t > 0$: stock en $t - 1$ et

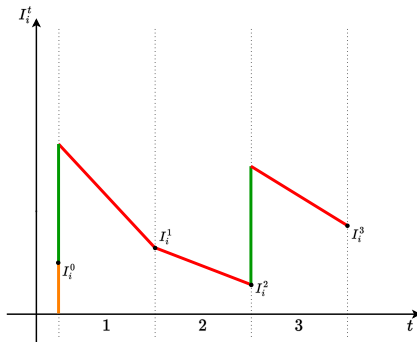
Fournisseur

- quantité produite
- montant livré aux clients



Clients

- quantités réapprovisionnées
- demandes

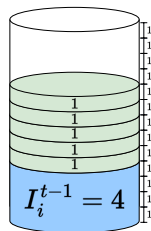


Politiques de stock

Maximum Level (ML)

$$\underbrace{L_i - I_i^{t-1}}_{\text{Quantité minimale}} \leq q_i^t \leq \underbrace{U_i - I_i^{t-1}}_{\text{Quantité maximale}}$$

$$\text{Taille de lot } \ell_i = 1$$

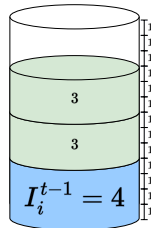


Batch Size (BS)

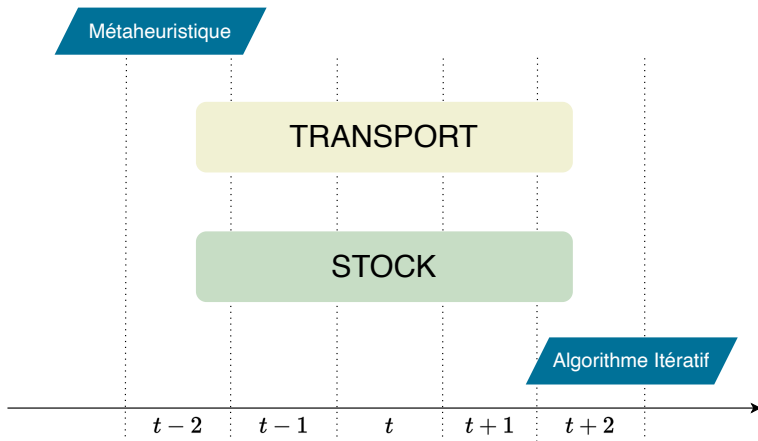
Contraintes ML et

$$q_i^t = \underbrace{z_i^t \times \ell_i}_{\text{Quantité multiple de } \ell_i}$$

$$\text{Taille de lot } \ell_i = 3$$



Contributions



Contributions

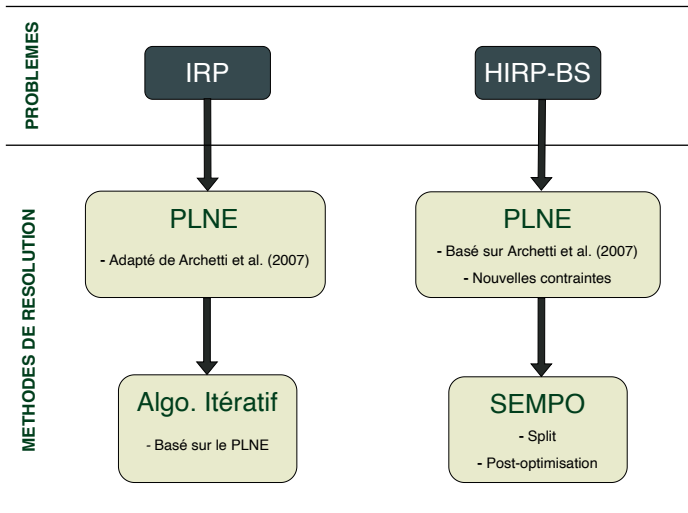


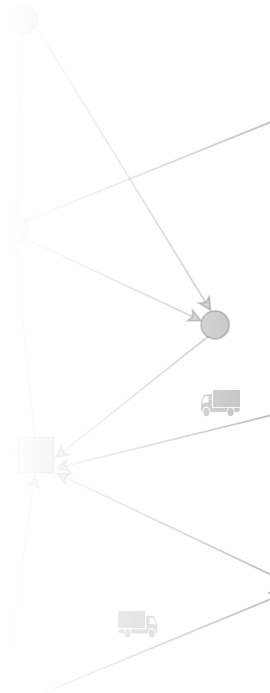
Table des matières

1 IRPs

2 IRP/Algorithme itératif

3 HIRP-BS/Métaheuristique

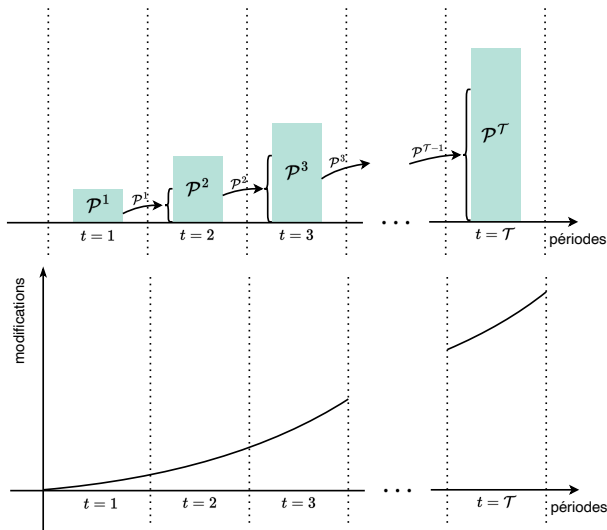
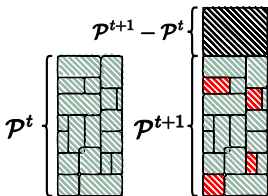
4 Conclusion



Algorithme itératif

Hypothèses

- Dépendance directe entre sous-problèmes
- Changements moindres sur les périodes éloignées

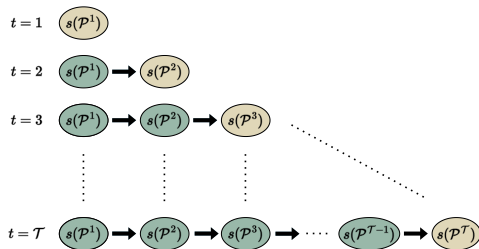


Algorithme itératif

Hypothèses

Sous-problèmes \mathcal{P}^t : basé sur les périodes 1 jusqu'à $t - 1$

Dimensions : $|\mathcal{P}^1| > |\mathcal{P}^2| > |\mathcal{P}^3| > \dots > |\mathcal{P}^{\mathcal{T}}|$



Contributions

- Algorithme de découpage
- Résolution itérative
- Degré de liberté

Littérature

Bourreau et al. (2020)

Algorithme itératif pour l'IRP

Résolution

Choix des variables : x (tournées)

lien entre les variables restantes : PLNE

$$x_{i,j}^t = \text{clients} \times \text{clients} \times \text{périodes}$$

Ordre : chronologique

Degré de liberté : contrôle des modifications autorisées

Faisabilité : dépendance du Δ

“Distance”

$$\delta = |\bar{x} - x|$$

$$\eta = \begin{cases} \delta \geq \bar{x} - x \\ \delta \geq x - \bar{x} \\ \delta \leq \bar{x} + x \\ \delta \leq 2 - \bar{x} - x \end{cases}$$

Degré de liberté

$$\sum \delta \leq \lceil \hat{x} \cdot \Delta \rceil$$

$\hookrightarrow \Delta = 0$: aucune modification autorisée

$\hookrightarrow \Delta = 100$: toutes modifications autorisées

Expériences et résultats

- Sous-ensemble d'instances¹
- Variation $\Delta = \{0, 10, \dots, \mathbf{50}, \dots, 90, 100\}$

Instance	Algo. Itératif		Littérature ²		gap(%)	rTemps
	z	$t(s)$	z	$t(s)$		
IRP_low_c5_t3	1826.68	0	1430.51	1	22	1
IRP_low_c10_t3	2894.35	2	2732.61	21	6	11
IRP_low_c15_t3	3073.35	9	2783.77	23	9	3
IRP_low_c20_t3	3913.45	139	3605.72	196	8	1
⋮			⋮		⋮	
IRP_high_c5_t3	2695.22	0	2298.73	0	15	0
IRP_high_c10_t3	5666.74	2	5506.09	13	3	8
IRP_high_c15_t3	6480.80	9	6242.90	16	4	2
IRP_high_c20_t3	8506.00	85	8165.42	229	4	3
⋮			⋮		⋮	
Moyennes					9	7

1. Archetti et al. (2007)

2. Manousakis et al. (2021)

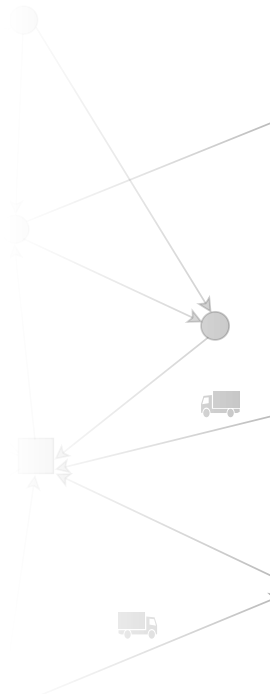
Table des matières

1 IRPs

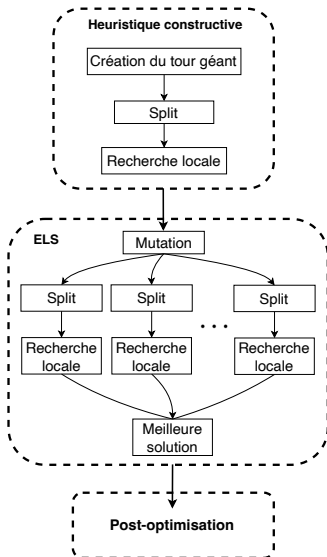
2 IRP/Algorithme itératif

3 HIRP-BS/Métaheuristique

4 Conclusion

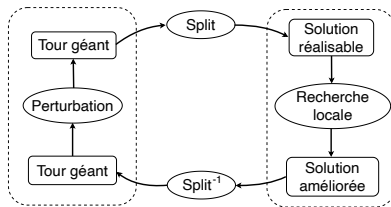


Split-Embedded Metaheuristic with Post-optimization (SEMPO)



Etapes

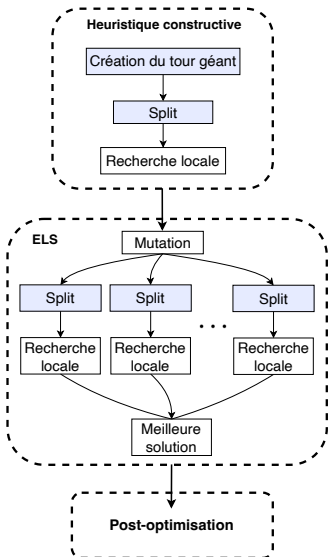
1. Heuristique constructive
2. Recherche locale évolutionnaire (ELS)
3. Post-optimisation



Littérature

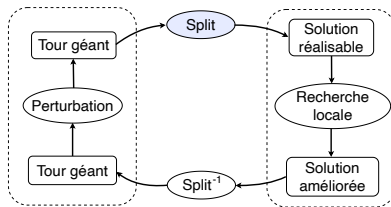
Lacomme, P. et al. (2001)
Prins, C. (2009)

Split-Embedded Metaheuristic with Post-optimization (SEMPO)



Etapes

1. Heuristique constructive
2. Recherche locale évolutionnaire (ELS)
3. Post-optimisation



Littérature

Lacomme, P. et al. (2001)
Prins, C. (2009)

Algorithmes de type Split

VRP (Beasley (1983))

- ▶ **Véhicules**
illimités et homogènes
- ▶ **Garantie de solution**
toujours
- ▶ **Algorithme d'évaluation**
plus court chemin classique

CVRP (Prins et al. (2014))

- ▶ **Véhicules**
limités, homogènes et capacités
- ▶ **Garantie de solution**
nombre de véhicules
nombre de *labels*
- ▶ **Algorithme d'évaluation**
plus court chemin à contrainte
de ressources

HVRP (Duhamel et al. (2012))

- ▶ **Véhicules**
limités, hétérogènes et capacités
- ▶ **Pas de garantie de solution**
nombre de véhicules
nombre de *labels*
- ▶ **Algorithme d'évaluation**
plus court chemin à contrainte
de ressources

Contribution : IRP/HIRP-BS

Split pour le HVRP +

- ▶ Séquence multi-période
- ▶ Résolution conjointe
 - ↔ tournées de véhicules
 - ↔ gestion de stock
 - ANTICIPATION et CUMUL

Algorithmes de type Split

VRP (Beasley (1983))

- ▶ **Véhicules**
illimités et homogènes
- ▶ **Garantie de solution**
toujours
- ▶ **Algorithme d'évaluation**
plus court chemin classique

CVRP (Prins et al. (2014))

- ▶ **Véhicules**
limités, homogènes et capacités
- ▶ **Garantie de solution**
nombre de véhicules
nombre de *labels*
- ▶ **Algorithme d'évaluation**
plus court chemin à contrainte
de ressources

HVRP (Duhamel et al. (2012))

- ▶ **Véhicules**
limités, hétérogènes et capacités
- ▶ **Pas de garantie de solution**
nombre de véhicules
nombre de *labels*
- ▶ **Algorithme d'évaluation**
plus court chemin à contrainte
de ressources

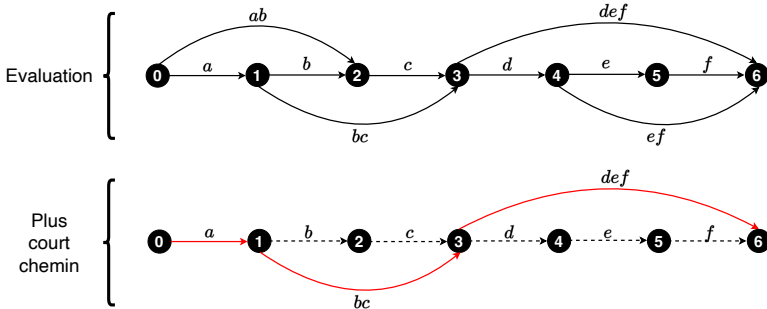
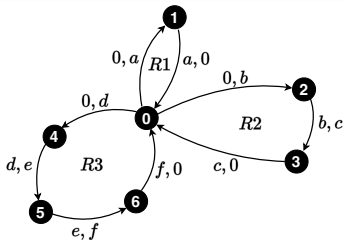
Contribution : IRP/HIRP-BS

- Split pour le HVRP +
- ▶ Séquence multi-période
 - ▶ Résolution conjointe
 - ↪ tournées de véhicules
 - ↪ gestion de stock
ANTICIPATION et CUMUL

Split - Cadre général

Etapas

1. Suite de clients prédéfinie (tour géant)
2. Evaluation (découpage) de la séquence
3. Recherche du plus court chemin
4. Définition d'une solution réalisable

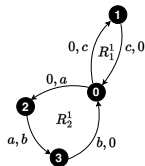


Split pour l'IRP - Cadre général

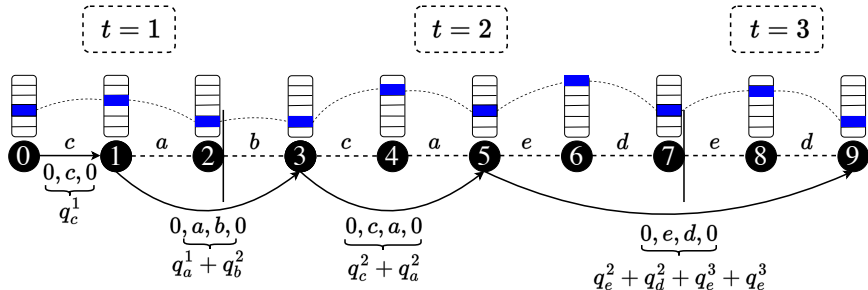
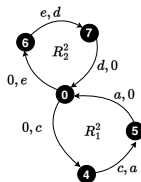
Analyses

- ▶ $\{0, c, 0\}$ ($t = 1$) : HVRP
- ▶ $\{0, a, b, 0\}$ ($t = 1$) : anticipation
- ▶ $\{0, c, a, 0\}$ ($t = 2$) : HVRP
- ▶ $\{0, e, d, 0\}$ ($t = 2$) : anticipation + cumul

$t = 1$



$t = 2$



Tour géant - Définition des clients

Hypothèses

- ▶ Chaque nœud contient un triplet
 {client, période, quantité}
- ▶ Pas de *split delivery*
- ▶ \mathcal{C}^t : clients à traiter en t

Deux étapes

1. Calcul des quantités au plus tard
 période de rupture de stock
2. Ajustement (si nécessaire)

Right shift

Niveau de stock

$$I_i^t = I_i^{t-1} + q_i^t - d_i^t$$

Quantités au plus tard

$$q_i^t = \left\lceil \frac{d_i^t - I_i^{t-1}}{\ell_i} \right\rceil \ell_i$$

Left shift

Surplus

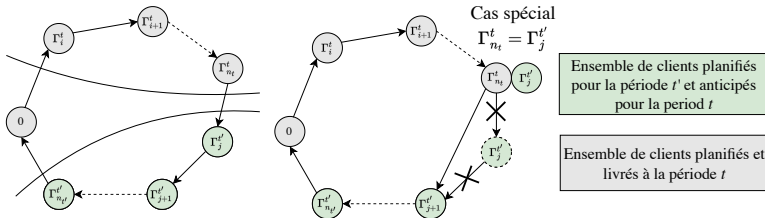
$$\text{surplus} \leftarrow U_i - I_i^t$$

Ajustement

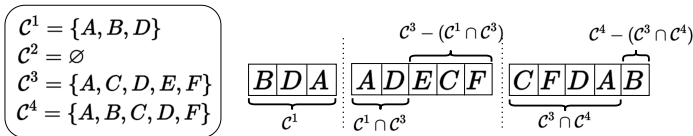
$$q_i^{t-1} \leftarrow q_i^{t-1} + \left\lceil \frac{\text{surplus}}{\ell_i} \right\rceil \times \ell_i$$

Tour géant - Placement des clients

Idée



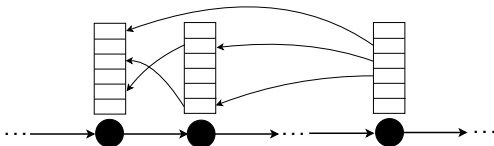
- Première période t : aléatoire
- Pour $t', t' > t$: probabilistique (λ) + aléatoire



Split - Labels

Définition

- ▶ Suivi des ressources
- ▶ Etat de l'évaluation du TG
- ▶ Solution partielle
réalisable : dernier sommet



VRP

$$l = \begin{cases} \text{coût} \\ \text{label d'origine} \end{cases}$$

CVRP/HVRP

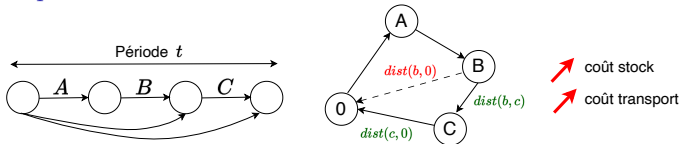
$$l = \begin{cases} \text{coût} \\ \text{disponibilité des véhicules} \\ \text{label d'origine} \end{cases}$$

IRP/HIRP-BS

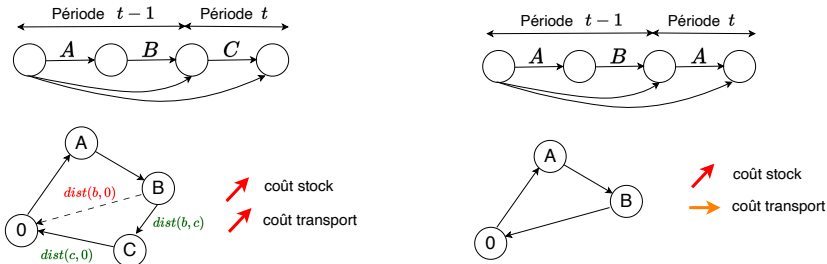
$$l = \begin{cases} \text{coût} \\ \text{période} \\ \text{véhicule} \\ \text{niveaux de stock} \\ \text{disponibilité des véhicules} \\ \text{visite effectuée} \\ \text{label d'origine} \end{cases}$$

Split - Propagation des *labels*

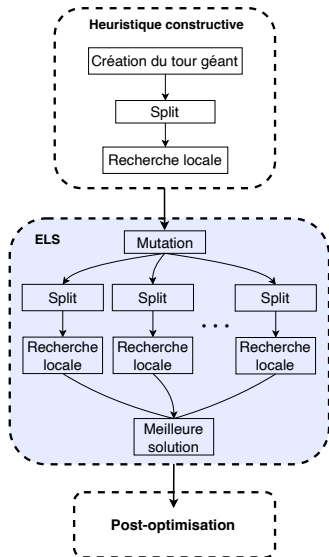
► Même période



► Périodes différentes

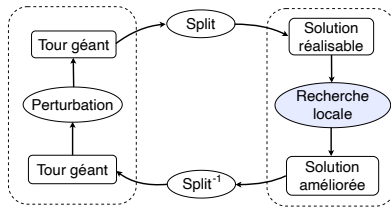


Split-Embedded Metaheuristic with Post-optimization (SEMPO)



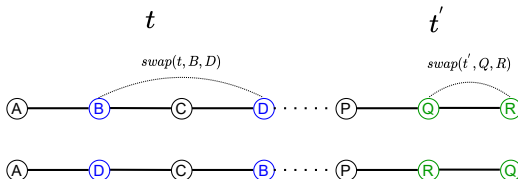
Etapes

1. Heuristique constructive
2. Recherche locale évolutionnaire (ELS)
3. Post-optimisation



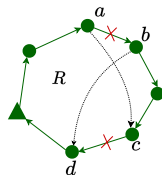
Evolutionary Local Search (ELS)¹

Mutation

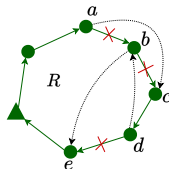


Recherche locale

- Cible
problème de tournées
- 2 opérateurs intra et inter tournées
Reinsertion
2-OPT



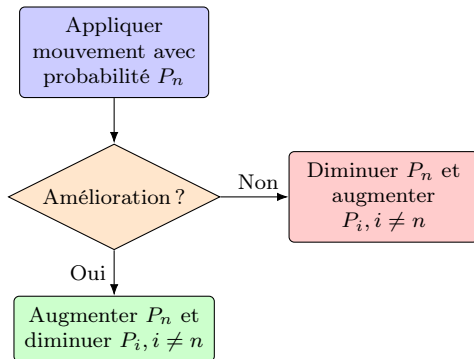
2-OPT intra



Reinsertion intra

1. Wolf, S., & Merz, P. (2007)

Recherche locale - Schéma adaptatif



Initialisation

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 25\%$$

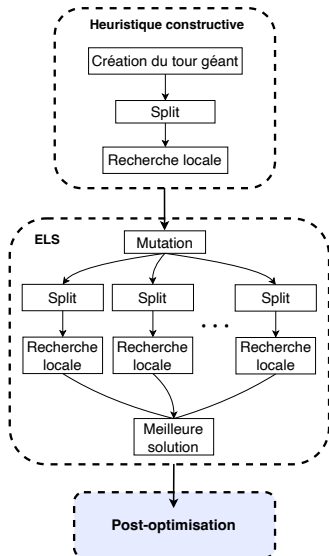
Mise à jour

- ▶ pour n courant : $\pm\delta$
- ▶ pour $i, i \neq n$: $\pm \frac{\delta}{\text{mouv} - 1}$
- ▶ limites $[P^-, P^+]$

Littérature

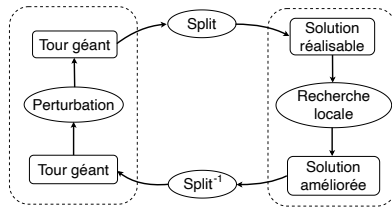
Chassaing, et al. (2016)

Split-Embedded Metaheuristic with Post-optimization (SEMPO)



Etapes

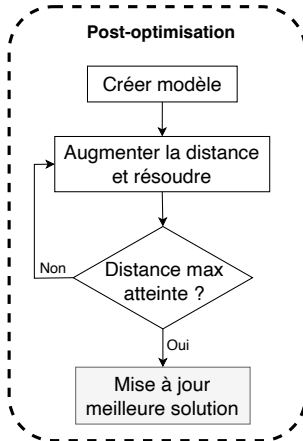
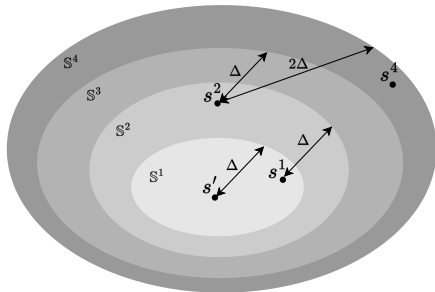
1. Heuristique constructive
2. Recherche locale évolutionnaire (ELS)
3. Post-optimisation



Post-optimisation

Hypothèses

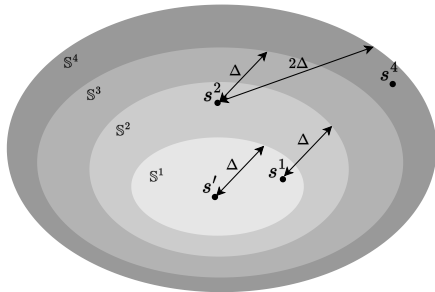
- Utilisation du PLNE
- Exploration voisinage (RL)
- Autoriser des modifications selon un degré de liberté
routage + stock



Post-optimisation

Hypothèses

- Utilisation du PLNE
- Exploration voisinage (RL)
- Autoriser des modifications selon un degré de liberté
routage + stock



“Distance”

$$\delta = |\bar{x} - x|$$

$$\eta = \begin{cases} \delta \geq \bar{x} - x \\ \delta \geq x - \bar{x} \\ \delta \leq \bar{x} + x \\ \delta \leq 2 - \bar{x} - x \end{cases}$$

Degré de liberté

$$\phi = \sum \delta$$

$$\xi_i \leq \phi < \xi_i + \Delta$$

Instances pour l'HIRP-BS

Caractéristiques

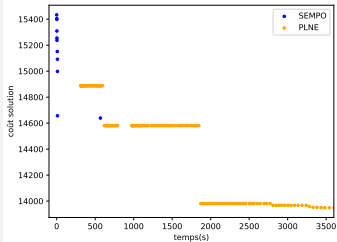
- ▶ **Demandes** [10,100]
- ▶ **Coûts de stock** [0.1,0.5]
- ▶ **Véhicules** (par période)

Types : [1,6]
Nombre par type : [1,5]
Coûts fixes : [50,150]
Coûts variables : [0.5,3.0]
- ▶ **Distances non Euclidiennes**
Duhamel et al. (2012)
- 80 instances { petite : 13
moyenne : 57
grande : 10

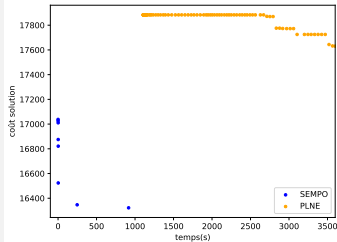
	Archetti et al. (2007)	Archetti et al. (2012)	Coelho et al. (2012)	Skalnes et al. (2023)	Cette thèse (2024)
Nombre de clients	5–50	50–200	5–50	10–200	19–183
Nombre de périodes	3, 6	6	3, 6	6, 9, 12	7, 14, 21, 28
Coûts stockage dépendants de la période	✗	✗	✗	✗	✓
Demandes dépendantes de la période	✗	✗	✗	✓	✓
Flotte de véhicules hétérogène	✗	✗	✗	✗	✓
Taille de lot par client	✗	✗	✗	✗	✓
Distances réelles	✗	✗	✗	✗	✓

Expériences et résultats - Instances petite taille

Pire cas



Meilleur cas



Expériences et résultats - Instances moyenne et grande tailles

Instances	PLNE				SEMPO			gap(%)
	z^{RL}	$t^{RL}(s)$	z^{UB}	$t^{UB}(s)$	z^{avg}	z^{σ}	$t(s)$	
HIRPBS_C19_T14	31765,05	1	-	-	34135,72	152,40	568	6,19
⋮								
HIRPBS_C34_T28	199983,60	15	-	-	211313,40	379,20	948	5,02
⋮								
HIRPBS_C46_T21	165078,24	48	-	-	174330,50	679,94	1088	4,66
⋮								
HIRPBS_C58_T14	100261,99	33	-	-	112918,60	228,33	950	10,96
⋮								
HIRPBS_C83_T28	458910,43	618	-	-	500579,90	798,14	863	8,10
Moyennes		77					921	8,53

Instances	PLNE				SEMPO			gap(%)
	z^{RL}	$t^{RL}(s)$	z^{UB}	$t^{UB}(s)$	z^{avg}	z^{σ}	$t(s)$	
HIRPBS_C114_T7	63214,61	148,56	-	-	74120,87	357,73	1288,12	14,22
⋮								
HIRPBS_C114_T21	368429,19	1234,34	-	-	409722,40	627,68	683,56	9,95
⋮								
HIRPBS_C149_T28	-	-	-	-	904061,50	2204,26	780,12	-
⋮								
HIRPBS_C183_T7	-	-	-	-	99123,17	326,58	806,78	-
Moyennes		348,15					868,94	12,01

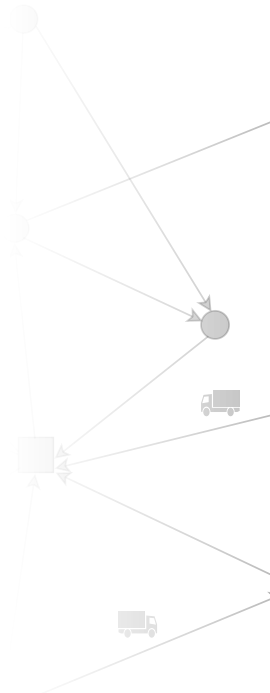
Table des matières

1 IRPs

2 IRP/Algorithme itératif

3 HIRP-BS/Métaheuristique

4 Conclusion



Conclusion

IRP

- ▶ Algorithme itératif
- ▶ Nouvelle variation : **HIRP-BS**

HIRP-BS

- ▶ Modélisation mathématique
- ▶ 80 nouvelles instances
- ▶ Métaheuristique SEMPO
 - ↪ Heuristique constructive
 - ↪ Split
 - ↪ Post-optimisation

Valorisation

- ▶ Conférences
 - ↪ ROADEF, EURO, MIC, EU/ME
- ▶ Publications
 - ↪ ROADEF, LNCS, EJOR (en cours)

Perspectives

- ▶ Nouvelles caractéristiques
 - ↪ géométrie des objets
 - ↪ limitation des véhicules
- ▶ Algorithme itératif pour le HIRP-BS
 - ↪ combiné avec un *Branch-and-cut*
- ▶ Intelligence artificielle
 - ↪ tendance des solutions

Publications

Communications nationales

1. **Martino, D. P.** ; Lacomme, P. ; Farias, K. ; Iori M. *Un algorithme basé sur la Programmation Dynamique pour l'Inventory Routing Problem. 24ème Conférence ROADEF de la Société Française de Recherche Opérationnelle et Aide à la Décision.* Lyon, 2023.
2. Lucas F. ; **Martino, D. P.** ; Billot R. ; Lacomme, P. *Inventory Routing Problem et Fouille de données : quel apport des règles de décision ?.* 24ème Conférence ROADEF de la Société Française de Recherche Opérationnelle et Aide à la Décision. Lyon, 2023.

Communications internationales

1. **Martino, D. P.** ; Lacomme P. ; Farias K. ; Iori M. *A metaheuristic schema for the Inventory Routing Problem.* In : *EU/ME meeting and Quantum School*, 2023, Troyes.
2. **Martino D.** ; Lacomme P. ; Farias, K. ; Iori M. *A Split-based Dynamic Programming approach for the Inventory Routing Problem.* 32nd European Conference on Operational Research. Finland, 2022.

Chapitre de livre

1. Farias K. ; Lacomme P. ; **Perdigão Martino D.** Iterative heuristic over periods for the Inventory Routing Problem. *Lecture Notes in Computer Science.* In Metaheuristics International Conference (pp. 123-135). Cham : Springer Nature Switzerland.

Journal

1. **Martino, D. P.** ; Lacomme P. ; Farias K. *A Split-Embedded Metaheuristic for the Heterogenous Inventory Routing Problem with Batch Size.* *European Journal of Operational Research* (en cours)

SOUTENANCE DE THESE

Stratégies d'optimisation pour le problème intégré de transport et de gestion de stock

Présenté par
Diego Perdigão Martino

Merci !



Algorithm Split

Data: data from the problem, triplets $\{\Gamma, \gamma, q\}$, maximum number of labels \mathcal{L}^{max}

Result: a feasible solution s

```
1 Begin
2 Generate the only label at  $\mathcal{L}_0$ 
3 for each node  $v \in |\mathcal{V}| - 1$  of  $\Gamma$  do
4   Get customer  $j = \Gamma_{v+1}$  and period  $t = \gamma_{v+1}$ 
5   Set inventory and routing costs and volume load to zero
6   repeat
7     Calculate inventory costs and distance traveled
8     Update vehicle load with  $q_j^t$ 
9     for each label  $l \in \mathcal{L}_j$  do
10      Define a label  $L = l$ 
11      Update  $L$ 
12      for each vehicle  $v \in \mathcal{K}^t$  do
13        Update the inventory and routing costs
14        if  $L$  is feasible and  $|\mathcal{L}_j| < \mathcal{L}^{max}$  then
15          Add label to  $\mathcal{L}_j$ 
16        end
17      end
18    end
19  until  $\Delta^{load} < \text{argmax}_{k \in \mathcal{K}^t} \{B^k\}$  and  $j \leq |\Gamma|$ ;
20 end
21 Retrieve critical path and build the solution  $s$ 
22 return  $s$  if  $\Gamma_{|\mathcal{L}_i|} > 0$  and  $\emptyset$  otherwise
23 End
```

Références - I

- Aksen, D., Kaya, O., Salman, F. S., & Tüncel, Ö. (2014). An adaptive large neighborhood search algorithm for a selective and periodic inventory routing problem. *European Journal of Operational Research*, 239(2), 413-426.
- Archetti, C., Bertazzi, L., Laporte, G., & Speranza, M. G. (2007). A branch-and-cut algorithm for a vendor-managed inventory-routing problem. *Transportation science*, 41(3), 382-391.
- Archetti, C., Speranza, M. G., Boccia, M., Sforza, A., & Sterle, C. (2020). A branch-and-cut algorithm for the inventory routing problem with pickups and deliveries. *European Journal of Operational Research*, 282(3), 886-895.
- Beasley, J. E. (1983). Route first—cluster second methods for vehicle routing. *Omega*, 11(4), 403-408.
- Bell, W. J., Dalberto, L. M., Fisher, M. L., Greenfield, A. J., Jaikumar, R., Kedia, P., ... & Prutzman, P. J. (1983). Improving the distribution of industrial gases with an on-line computerized routing and scheduling optimizer. *Interfaces*, 13(6), 4-23.
- Bourreau, E., Gondran, M., Lacomme, P., & Vinot, M. (2020). *Programmation Par Contraintes : démarches de modélisation pour des problèmes d'optimisation*. Ellipses.
- Chassaing, M., Duhamel, C., & Lacomme, P. (2016). An ELS-based approach with dynamic probabilities management in local search for the Dial-A-Ride Problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 48, 119-133.
- Coelho, L. C., Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2012). Consistency in multi-vehicle inventory-routing. *Transportation Research Part C : Emerging Technologies*, 24, 270-287.
- Diabat, A., Bianchessi, N., & Archetti, C. (2024). On the zero-inventory-ordering policy in the inventory routing problem. *European Journal of Operational Research*, 312(3), 1024-1038.

Références - II

- Duhamel, C., Lacomme, P., & Prodhon, C. (2012). A hybrid evolutionary local search with depth first search split procedure for the heterogeneous vehicle routing problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(2), 345-358.
- Lacomme, P., Prins, C., & Ramdane-Chérif, W. (2001, April). A genetic algorithm for the capacitated arc routing problem and its extensions. In *Workshops on applications of evolutionary computation* (pp. 473-483). Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg.
- Manousakis, E., Repoussis, P., Zachariadis, E., & Tarantilis, C. (2021). Improved branch-and-cut for the inventory routing problem based on a two-commodity flow formulation. *European Journal of Operational Research*, 290(3), 870-885.
- Prins, C., Labadi, N., & Reghioui, M. (2009). Tour splitting algorithms for vehicle routing problems. *International Journal of Production Research*, 47(2), 507-535.
- Prins, C., Lacomme, P., & Prodhon, C. (2014). Order-first split-second methods for vehicle routing problems : A review. *Transportation Research Part C : Emerging Technologies*, 40, 179-200.
- Skålnes, J., Ahmed, M. B., Hvattum, L. M., & Stålhane, M. (2024). New benchmark instances for the inventory routing problem. *European Journal of Operational Research*, 313(3), 992-1014.
- Touzout, F. A., Ladier, A. L., & Hadj-Hamou, K. (2022). An assign-and-route matheuristic for the time-dependent inventory routing problem. *European Journal of Operational Research*, 300(3), 1081-1097.
- Wolf, S., & Merz, P. (2007, October). Evolutionary local search for the super-peer selection problem and the p-hub median problem. In *International workshop on hybrid metaheuristics* (pp. 1-15). Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg.