

Optimisation de tournées de camions complets dans le secteur des travaux publics

Axel GRIMAUULT

Soutenance de thèse de doctorat présentée le jeudi 16 juin 2016

École des Mines de Nantes, Équipe SLP, Laboratoire IRCCyN

Directrice de thèse	Mme. Nathalie Bostel, Université de Nantes
Co-encadrant de thèse	M. Fabien Lehuédé, École des Mines de Nantes
Rapporteurs	M. André Langevin, École Polytechnique de Montréal M. Éric Sanlaville, Université du Havre
Examineurs	M. Pierre Dejax, École des Mines de Nantes M. Jorge Mendoza, École Polytechnique de l'Université de Tours M. Marc Sevaux, Université de Bretagne Sud
Membre invité	M. Willy Lambert, Entreprise Luc Durand



- 1 Présentation de la thèse
- 2 Découpage des demandes en requêtes
- 3 Résolution du FT-PDP-RS
- 4 Résolution du Rich-FT-PDP-RS
- 5 Conclusions et perspectives

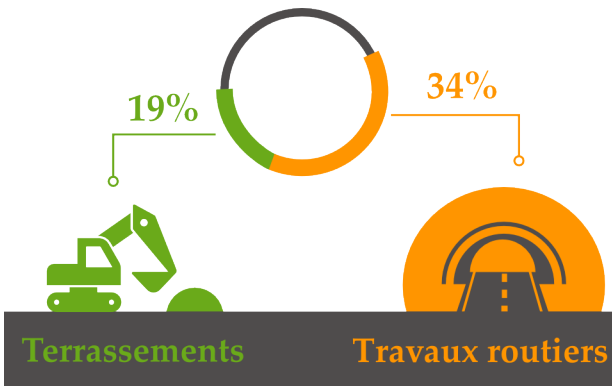
- 1 Présentation de la thèse
- 2 Découpage des demandes en requêtes
- 3 Résolution du FT-PDP-RS
- 4 Résolution du Rich-FT-PDP-RS
- 5 Conclusions et perspectives

Chiffres clés sur le transport

- 29.6 % des émissions de GES en France liées aux transports
- 94 % de ces émissions dues aux transports par la route

Chiffres clés du transport, Ministère de l'Environnement, de l'Énergie de la Mer, mars 2016

Chiffres clés sur le transport



Zoom sur le secteur des travaux publics

Chiffres clés, Fédération nationale des travaux publics, 2014

Chiffres clés sur le transport



Entreprise de travaux publics

- 12.5 millions de kilomètres parcourus par an
- 47 800 tonnes de CO₂

Le projet ORLoGES

Optimisation du Réseau Logistique en Génie civil, avec les aspects Économiques et Sociétaux

- Luc Durand
- École des Mines de Nantes / IRCCyN
- PTV Group
- Kaliterre (*devenue Greenspector*)
- Opal Conseil

Le projet ORLoGES



ODO-VIA Data Logistics Smart Mapping

Bienvenue !
Que voulez-vous faire ?
[Accéder au planning logistique](#)
[Créer un Bon de Peuple](#)

Mes demandes en cours

Demandes logistiques

Rechercher... Statut: En Cours [Requiert demande](#)

Ref.	Départ	Arrivée	Matériau	Route à livrer	Progression	Date	Conducteur de Travaux	Création
#382	ECENCLERE	ECHAUVAON	BA	508 T	<div style="width: 100%;"></div>	06/06/16 13:00 → 20/06/16 20:00	whiskoper	27/07/15 - demo
#383	ECHAUVAON	ECENCLERE	SC	205 T	<div style="width: 100%;"></div>	06/06/16 13:00 → 20/06/16 20:00	whiskoper	27/07/15 - demo
#384	E4	D130301	BS923	50 T	<div style="width: 100%;"></div>	30/02/16 18:00 → 23/02/16 13:00	whiskoper	27/07/15 - demo
#387	E4	D130301	BS923	108 T	<div style="width: 100%;"></div>	07/06/16 18:00 → 07/06/16 20:00	whiskoper	27/07/15 - demo
#388	D130301	E4	BART	75 T	<div style="width: 100%;"></div>	07/06/16 13:00 → 07/06/16 14:00	whiskoper	27/07/15 - demo
#504	D130302	ECENCLERE	BART	138 T	<div style="width: 100%;"></div>	07/06/16 13:00 → 07/06/16 14:00	demo	14/01/16 - demo
#505	E4	D130302	BS923	75 T	<div style="width: 100%;"></div>	08/06/16 13:00 → 08/06/16 14:00	demo	14/01/16 - demo
#506	D130303	ECENCLERE	BA	1 900 T	<div style="width: 100%;"></div>	07/06/16 13:00 → 20/06/16 20:00	demo	14/01/16 - demo
#507	D130304	ECENCLERE	BART	45 T	<div style="width: 100%;"></div>	08/06/16 13:00 → 08/06/16 14:00	demo	14/01/16 - demo
#508	ECENCLERE	D130304	GVTB320	80 T	<div style="width: 100%;"></div>	06/06/16 13:00 → 08/06/16 20:00	demo	14/01/16 - demo
#509	ECENCLERE	D130304	SC	20 T	<div style="width: 100%;"></div>	08/06/16 13:00 → 08/06/16 14:00	demo	14/01/16 - demo
#511	D130305	ECHAUVAON	BA	758 T	<div style="width: 100%;"></div>	06/06/16 13:00 → 20/06/16 20:00	demo	14/01/16 - demo

3D View 3D

Rechercher une adresse

© Mapbox © OpenStreetMap contributors

Le projet ORLoGES

Lot stratégique



Le projet ORLoGES

Lot stratégique



Le projet ORLoGES

Lot stratégique



Le projet ORLoGES



Le projet ORLoGES

Lot stratégique



Lot tactique



Lot opérationnel



Le projet ORLoGES

Lot stratégique



Lot tactique



Lot opérationnel



Luc Durand



Entreprise de travaux publics

Principales activités

- Déconstruction
- Terrassement
- Pose de conduites et canalisations
- Constructions routières
- Aménagements urbains & ruraux



Entreprise de travaux publics

Principales activités : transports en vrac



Crédits photos : Luc Durand & John Lucas

Présentation des flux de matériaux



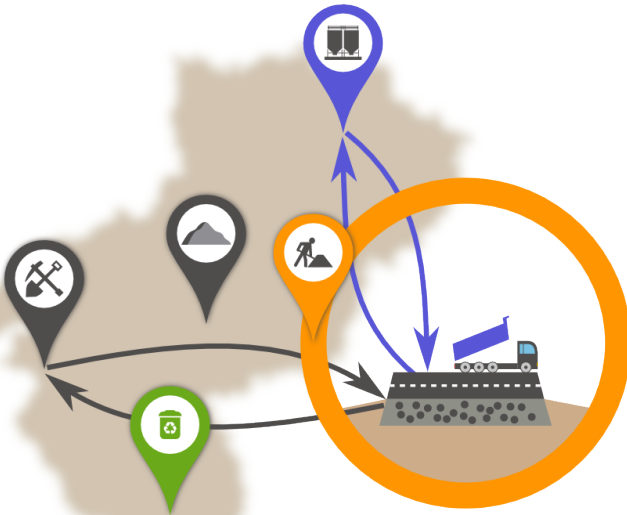
Présentation des flux de matériaux



Présentation des flux de matériaux



Présentation des flux de matériaux



Caractéristique : transports en camions pleins



Caractéristique : transports en camions pleins

1



Caractéristique : transports en camions pleins

1



Caractéristique : transports en camions pleins

2



Caractéristique : transports en camions pleins

2



Caractéristique : transports en camions pleins

10



Caractéristique : transports en camions pleins

10



demande



requête

Caractéristique : ressource (définition)

Une **ressource** modélise un **outil** ou un **service** sur un site de l'entreprise.

Caractéristique : ressource (définition)

Une **ressource** modélise un **outil** ou un **service** sur un site de l'entreprise.



Pont-bascule pour la pesée des camions

Caractéristique : ressource (définition)

Une **ressource** modélise un **outil** ou un **service** sur un site de l'entreprise.



Pelle mécanique pour le remplissage des camions

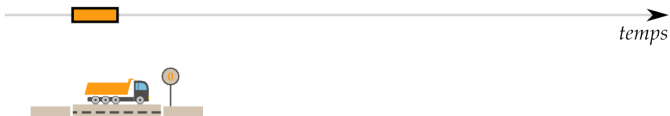
Caractéristique : ressource (définition)

Une **ressource** modélise un **outil** ou un **service** sur un site de l'entreprise.



Finisseur pour l'application des enrobés

Caractéristique : ressource (modélisation)



Occupation du pont-bascule à l'entrée

Caractéristique : ressource (modélisation)



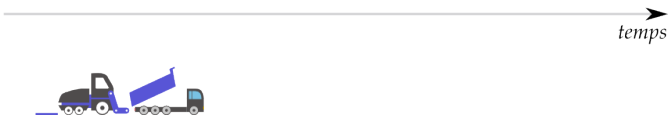
Occupation du pont-basculé à la sortie

Caractéristique : ressource (modélisation)



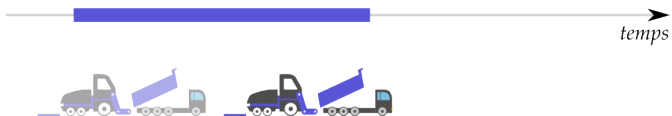
Modélisation de l'occupation du pont-bascule

Caractéristique : ressource (modélisation)



Ressource finisseur pour l'application des enrobés

Caractéristique : ressource (modélisation)



Occupation de la ressource pendant toute la durée de l'application

Caractéristique : ressource (modélisation)



Dépendance vis à vis du type de camions

Caractéristique : synchronisations

- Interdépendance entre les tournées

Synchronisation aux ressources

“À chaque instant, l’utilisation totale d’une ressource est inférieure à une certaine valeur.”

Drexl, 2012

- Représenter le contexte industriel
 - capacité unitaire (contrainte disjonctive)
 - modélisation de précédences entre les camions

Caractéristique : synchronisations **aux ressources**

Synchronisation sur une ressource pont-bascule



Caractéristique : synchronisations **aux ressources**

Synchronisation sur une ressource pont-bascule



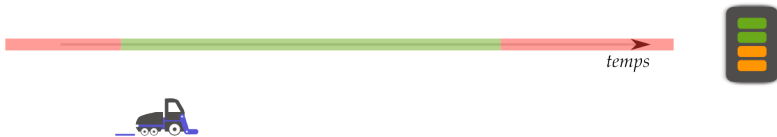
Caractéristique : synchronisations **aux ressources**

Synchronisation sur une ressource pont-bascule



Caractéristique : synchronisations **aux ressources**

Synchronisation sur une ressource finisseur



Caractéristique : synchronisations **aux ressources**

Synchronisation sur une ressource finisseur



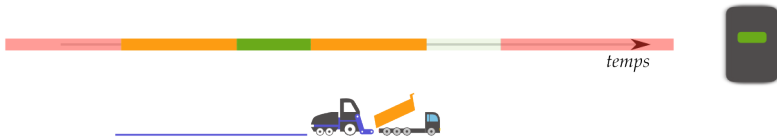
Caractéristique : synchronisations **aux ressources**

Synchronisation sur une ressource finisseur



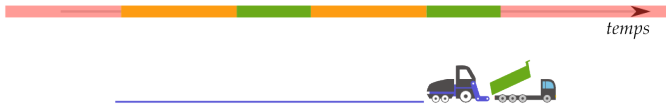
Caractéristique : synchronisations **aux ressources**

Synchronisation sur une ressource finisseur



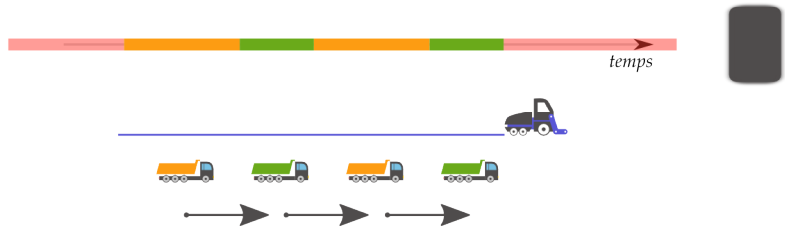
Caractéristique : synchronisations **aux ressources**

Synchronisation sur une ressource finisseur



Caractéristique : synchronisations **aux ressources**

Synchronisation sur une ressource finisseur



Caractéristique des flux de matériaux

- flux détendus : service dans la fenêtre de temps
- flux tendus : service continu dans la fenêtre de temps



Caractéristique des flux de matériaux

- flux détendus : service dans la fenêtre de temps
- flux tendus : service continu dans la fenêtre de temps



Objectifs scientifiques

Décisions

- Découper les **demandes** en **requêtes**
 - Résoudre le problème de tournées de véhicules avec synchronisation sur les ressources
-
- Minimiser la somme des coûts des transports
 - coût fixe d'utilisation des camions $\mathcal{C}\mathcal{D}$
 - coût kilométrique du camion $\mathcal{C}\mathcal{K}$
 - coût horaire du chauffeur $\mathcal{C}\mathcal{H}$

Positionnement du problème dans la littérature

■ État de l'art sur les principales caractéristiques

Référence	Année	Demande		Chargement	Flotte			RS	TW	Résolution	Application
		< Q	> Q		H	CD	CK				
Brachner	2013	•		LTL					•	R&R	Enrobés
Palmgren et al.	2001		•	FTL					•	CG	Bois
Palmgren et al.	2004		•	FTL					•	H	Bois
Gronalt et Hirsch	2007	•		FTL	•				•	TS	Bois
Flisberg et al.	2009		•	FTL	•				•	S	Bois
Hirsch	2011	•		FTL	•				•	TS	Bois
El Hachemi et al.	2013		•	FTL			•		•	CP + ILS	Bois
El Hachemi et al.	2015		•	FTL			•		•	S	Bois
Durbin et Hoffman	2008		•	FTL	•	•	•		•	S	Bétons
Schmid et al.	2009		•	FTL	•			•	•	VNS	Bétons
Asbach et al.	2009		•	FTL	•			•	•	LS	Bétons
Schmid et al.	2010		•	FTL	•			•	•	VLNS	Bétons
Liu et al.	2014		•	FTL	•			•	•	GA	Bétons
<i>notre problème</i>	2015		•	FTL	•	•	•	•	•	ALNS	-

LTL : Less-Than-Truckload / FTL : Full TruckLoad / H : Flotte hétérogène / CD : Coût fixe / CK : Coût dépendant du véhicule / RS : Synchronisation aux ressources / TW : Fenêtres de temps

Positionnement du problème dans la littérature

■ Peu de littérature sur l'application des enrobés

Référence	Année	Demande		Chargement	Flotte			RS	TW	Résolution	Application
		< Q	> Q		H	CD	CK				
Brachner	2013	•		LTL					•	R&R	Enrobés
Palmgren et al.	2001		•	FTL					•	CG	Bois
Palmgren et al.	2004		•	FTL					•	H	Bois
Gronalt et Hirsch	2007	•		FTL	•				•	TS	Bois
Flisberg et al.	2009		•	FTL	•				•	S	Bois
Hirsch	2011	•		FTL	•				•	TS	Bois
El Hachemi et al.	2013		•	FTL			•	•	•	CP + ILS	Bois
El Hachemi et al.	2015		•	FTL			•	•	•	S	Bois
Durbin et Hoffman	2008		•	FTL	•	•	•		•	S	Bétons
Schmid et al.	2009		•	FTL	•			•	•	VNS	Bétons
Asbach et al.	2009		•	FTL	•			•	•	LS	Bétons
Schmid et al.	2010		•	FTL	•			•	•	VLNS	Bétons
Liu et al.	2014		•	FTL	•			•	•	GA	Bétons
<i>notre problème</i>	2015		•	FTL	•	•	•	•	•	ALNS	-

LTL : Less-Than-Truckload / FTL : Full TruckLoad / H : Flotte hétérogène / CD : Coût fixe / CK : Coût dépendant du véhicule / RS : Synchronisation aux ressources / TW : Fenêtres de temps

Positionnement du problème dans la littérature

■ Littérature sur les problèmes liés aux transports de bois

Référence	Année	Demande		Chargement	Flotte			RS	TW	Résolution	Application
		< Q	> Q		H	CD	CK				
Brachner	2013	•		LTL					•	R&R	Enrobés
Palmgren et al.	2001		•	FTL					•	CG	Bois
Palmgren et al.	2004		•	FTL					•	H	Bois
Gronalt et Hirsch	2007	•		FTL	•				•	TS	Bois
Flisberg et al.	2009		•	FTL	•				•	S	Bois
Hirsch	2011	•		FTL	•				•	TS	Bois
El Hachemi et al.	2013		•	FTL			•	•	•	CP + ILS	Bois
El Hachemi et al.	2015		•	FTL			•	•	•	S	Bois
Durbin et Hoffman	2008		•	FTL	•	•	•		•	S	Bétons
Schmid et al.	2009		•	FTL	•			•	•	VNS	Bétons
Asbach et al.	2009		•	FTL	•			•	•	LS	Bétons
Schmid et al.	2010		•	FTL	•			•	•	VLNS	Bétons
Liu et al.	2014		•	FTL	•			•	•	GA	Bétons
<i>notre problème</i>	2015		•	FTL	•	•	•	•	•	ALNS	-

LTL : Less-Than-Truckload / FTL : Full TruckLoad / H : Flotte hétérogène / CD : Coût fixe / CK : Coût dépendant du véhicule / RS : Synchronisation aux ressources / TW : Fenêtres de temps

Positionnement du problème dans la littérature

■ Littérature sur les problèmes liés à l'application des bétons

Référence	Année	Demande		Chargement	Flotte			RS	TW	Résolution	Application
		< Q	> Q		H	CD	CK				
Brachner	2013	•		LTL					•	R&R	Enrobés
Palmgren et al.	2001		•	FTL					•	CG	Bois
Palmgren et al.	2004		•	FTL					•	H	Bois
Gronalt et Hirsch	2007	•		FTL	•				•	TS	Bois
Flisberg et al.	2009		•	FTL	•				•	S	Bois
Hirsch	2011	•		FTL	•				•	TS	Bois
El Hachemi et al.	2013		•	FTL			•		•	CP + ILS	Bois
El Hachemi et al.	2015		•	FTL			•		•	S	Bois
Durbin et Hoffman	2008		•	FTL	•	•	•		•	S	Bétons
Schmid et al.	2009		•	FTL	•			•	•	VNS	Bétons
Asbach et al.	2009		•	FTL	•			•	•	LS	Bétons
Schmid et al.	2010		•	FTL	•			•	•	VLNS	Bétons
Liu et al.	2014		•	FTL	•			•	•	GA	Bétons
<i>notre problème</i>	2015		•	FTL	•	•	•	•	•	ALNS	-

LTL : Less-Than-Truckload / FTL : Full TruckLoad / H : Flotte hétérogène / CD : Coût fixe / CK : Coût dépendant du véhicule / RS : Synchronisation aux ressources / TW : Fenêtres de temps

Méthode de résolution

Décision 1 : découpage des **demandes** en **requêtes**

- monopériodique
- multipériodique

Décision 2 : création des tournées

- version simplifiée (FT-PDP-RS)
- version complète (Rich-FT-PDP-RS)

Méthode de résolution

Décision 1 : découpage des **demandes** en **requêtes**

- monopériodique
- multipériodique

Décision 2 : création des tournées

- version simplifiée (FT-PDP-RS)
- version complète (Rich-FT-PDP-RS)

Méthode de résolution

Décision 1 : découpage des **demandes** en **requêtes**

- monopériodique
- multipériodique

Décision 2 : création des tournées

- version simplifiée (FT-PDP-RS)
- version complète (Rich-FT-PDP-RS)

Dénomination du problème

Rich-FT-PDP-RS

Rich Full Truckload Pickup and Delivery Problem with Resource Synchronization

- collectes et livraisons (*pickup and delivery*)
- camions complets (*full truckloads*)
- synchronisation aux ressources (*resource synchronization*)
- flotte hétérogène avec coûts fixes, kilométriques et horaires
- coût des tournées, contraintes légales et pauses-déjeuner (*rich*)

- 1 Présentation de la thèse
- 2 Découpage des demandes en requêtes**
- 3 Résolution du FT-PDP-RS
- 4 Résolution du Rich-FT-PDP-RS
- 5 Conclusions et perspectives

Description de la première phase (1/2)

⇒ Affecter les camions aux demandes de manière à minimiser les coûts

- Pratique métier du logisticien de l'entreprise
- Les camions sont des ressources temporelles
- Chaque catégorie a ses propres caractéristiques (coût journalier, coût horaire, réseau routier accessible)

⇒ Identifier des requêtes complémentaires

Description de la première phase (2/2)



Description de la première phase (2/2)



Description de la première phase (2/2)



Description de la première phase (2/2)



Cas monopériodique

Données d'entrée

- flotte hétérogène de camions
- demandes de transport (supérieures à la capacité des camions)

Objectif

⇒ Définir le **nombre de camions** de chaque **catégorie** à affecter à chaque **demande** pour **minimiser** les coûts

Contraintes

- satisfaire la quantité livrée pour chaque demande
- respecter la disponibilité temporelle des camions

Justifications de la première phase

Rotation

Un **camion** servant *partiellement* une des **demande**s.

- rotation simple (aller/retour)
- rotation composée (deux demandes)

Notion de rotation



Rotation simple

Notion de rotation



Rotation composée

Notion de rotation



Rotation composée

Modélisation du découpage monopériodique

Proposition d'un modèle PLNE

$$\min \quad \sum_{f \in F} \sum_{n \in N} C_{fn} X_{fn} \quad (1)$$

s.c.

$$\sum_{n \in N_f} T_{fn} X_{fn} \leq \bar{H} * nbVehicle_f \quad \forall f \in F \quad (2)$$

$$\sum_{f \in F_n} Q_f X_{fn} \geq q_n \quad \forall n \in N \quad (3)$$

$$X_{fn} \in \mathbb{N}^+ \quad (4)$$

- Variables X_{fn} donnant le nombre de requêtes à créer de la catégorie f de camions servant la demande n

Modélisation du découpage monopériodique

- Découpage *monopériodique*
- Résolus avec un solveur libre `or-tools` & `Coin-Or`
CBC 2.8

⇒ Temps de résolution instantanés

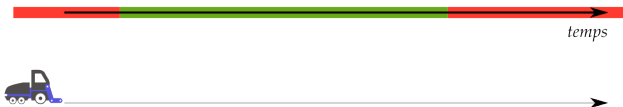
Ajout de bornes sur les variables X_{fn}



⇒ Limite de la modélisation vis à vis des fenêtres de temps

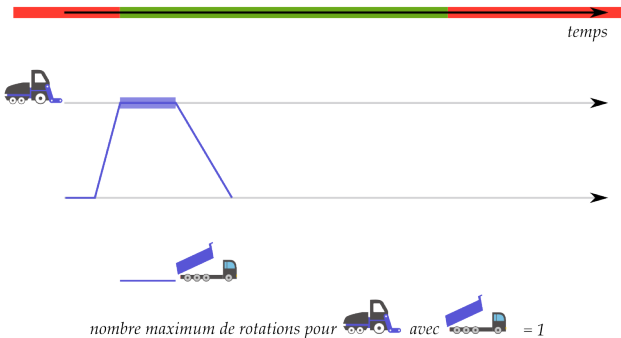
Dans le cas des **demandes à flux tendus** ayant une fenêtre de temps *réduite* par rapport à l'horizon de temps

⇒ une borne supérieure sur X_{fn}

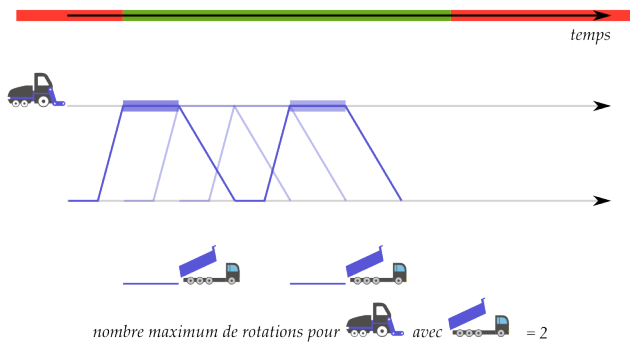
Ajout de bornes sur les variables X_{fn}



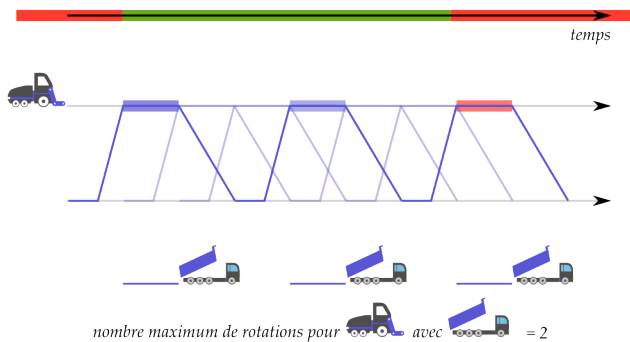
nombre maximum de rotations pour  avec 

Ajout de bornes sur les variables X_{fn} 

Ajout de bornes sur les variables X_{fn}



Ajout de bornes sur les variables X_{fn}



Analyse la première phase

- Meilleur coût du modèle monopériodique avec des rotations composées

⇒ Évaluation en utilisant la deuxième phase de création des tournées

- Construction de meilleures tournées sur les instances industrielles à partir du modèle à rotations simples (-0.12%)
- Tests à réaliser sur le multipériodique

- 1 Présentation de la thèse
- 2 Découpage des demandes en requêtes
- 3 Résolution du FT-PDP-RS**
- 4 Résolution du Rich-FT-PDP-RS
- 5 Conclusions et perspectives

Résolution du FT-PDP-RS

⇒ Création des tournées en prenant compte des contraintes suivantes :

- Collectes et livraisons avec fenêtres de temps
- Camions complets
- Synchronisation aux ressources
- Contraintes légales sur les chauffeurs
- Minimisation de la durée des tournées (coût horaire)
- Prise en compte des pauses-déjeuner

Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS)

Métaheuristique basée sur la destruction et la réparation d'une solution.

Ropke & Pisinger, 2006

Résolution du FT-PDP-RS

⇒ Création des tournées en prenant compte des contraintes suivantes :

- Collectes et livraisons avec fenêtres de temps
- Camions complets
- Synchronisation aux ressources
- ~~Contraintes légales sur les chauffeurs~~
- ~~Minimisation de la durée des tournées (coût horaire)~~
- ~~Prise en compte des pauses-déjeuner~~

Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS)

Métaheuristique basée sur la destruction et la réparation d'une solution.

Ropke & Pisinger, 2006

Résolution du FT-PDP-RS

⇒ Création des tournées en prenant compte des contraintes suivantes :

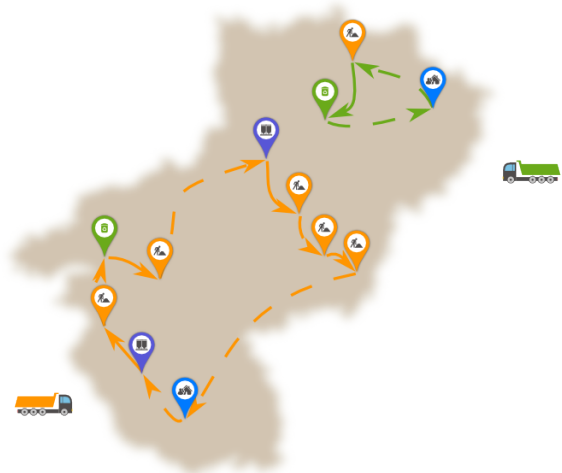
- Collectes et livraisons avec fenêtres de temps
- Camions complets
- Synchronisation aux ressources
- Contraintes légales sur les chauffeurs
- Minimisation de la durée des tournées (coût horaire)
- Prise en compte des pauses-déjeuner

Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS)

Métaheuristique basée sur la destruction et la réparation d'une solution.

Ropke & Pisinger, 2006

Résolution du FT-PDP-RS



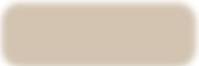
Résolution du FT-PDP-RS

Requêtes non insérées



Résolution du FT-PDP-RS

Requêtes non insérées



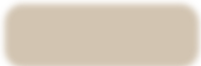
Résolution du FT-PDP-RS

Requêtes non insérées



Résolution du FT-PDP-RS

Requêtes non insérées



Framework général

- Destruction d'une solution
- Réparation d'une solution
- Réalisabilité d'une solution

Destruction d'une solution

- Diversifier la destruction de la solution
- À chaque itération, q requêtes sont retirées.
 $q \in [\xi_{min}, \xi_{max}] * |\mathcal{L}|$

Opérateurs de destruction

- **RDO** : Random Destroy Operator
- WDO : Worst Destroy Operator
- DRDO : Distance-Related Destroy Operator
- TRDO : Time-Related Destroy Operator
- RODO : Route Destroy Operator
- REDO : Resource Destroy Operator
- CDO : Critical Destroy Operator

Retrait aléatoire

Destruction d'une solution

- Diversifier la destruction de la solution
- À chaque itération, q requêtes sont retirées.
 $q \in [\xi_{min}, \xi_{max}] * |\mathcal{L}|$

Opérateurs de destruction

- **RDO** : Random Destroy Operator
- **WDO** : Worst Destroy Operator
- DRDO : Distance-Related Destroy Operator
- TRDO : Time-Related Destroy Operator
- RODO : Route Destroy Operator
- REDO : Resource Destroy Operator
- CDO : Critical Destroy Operator

Retrait des requêtes qui détériorent le plus la fonction objectif

Destruction d'une solution

- Diversifier la destruction de la solution
- À chaque itération, q requêtes sont retirées.
 $q \in [\xi_{min}, \xi_{max}] * |\mathcal{L}|$

Opérateurs de destruction

- **RDO** : Random Destroy Operator
- **WDO** : Worst Destroy Operator
- **DRDO** : Distance-Related Destroy Operator
- TRDO : Time-Related Destroy Operator
- RODO : Route Destroy Operator
- REDO : Resource Destroy Operator
- CDO : Critical Destroy Operator

Retrait basé sur la proximité géographique de requêtes

Destruction d'une solution

- Diversifier la destruction de la solution
- À chaque itération, q requêtes sont retirées.
 $q \in [\xi_{min}, \xi_{max}] * |\mathcal{L}|$

Opérateurs de destruction

- **RDO** : Random Destroy Operator
- **WDO** : Worst Destroy Operator
- **DRDO** : Distance-Related Destroy Operator
- **TRDO** : Time-Related Destroy Operator
- **RODO** : Route Destroy Operator
- **REDO** : Resource Destroy Operator
- **CDO** : Critical Destroy Operator

Retrait basé sur la proximité temporelle de requêtes

Destruction d'une solution

- Diversifier la destruction de la solution
- À chaque itération, q requêtes sont retirées.
 $q \in [\xi_{min}, \xi_{max}] * |\mathcal{L}|$

Opérateurs de destruction

- **RDO** : Random Destroy Operator
- **WDO** : Worst Destroy Operator
- **DRDO** : Distance-Related Destroy Operator
- **TRDO** : Time-Related Destroy Operator
- **RODO** : Route Destroy Operator
- REDO : Resource Destroy Operator
- CDO : Critical Destroy Operator

Retrait de toutes les requêtes d'une tournée

Destruction d'une solution

- Diversifier la destruction de la solution
- À chaque itération, q requêtes sont retirées.
 $q \in [\xi_{min}, \xi_{max}] * |\mathcal{L}|$

Opérateurs de destruction

- **RDO** : Random Destroy Operator
- **WDO** : Worst Destroy Operator
- **DRDO** : Distance-Related Destroy Operator
- **TRDO** : Time-Related Destroy Operator
- **RODO** : Route Destroy Operator
- **REDO** : Resource Destroy Operator
- **CDO** : Critical Destroy Operator

Retrait de toutes les requêtes d'une ressource

Destruction d'une solution

- Diversifier la destruction de la solution
- À chaque itération, q requêtes sont retirées.
 $q \in [\xi_{min}, \xi_{max}] * |\mathcal{L}|$

Opérateurs de destruction

- **RDO** : Random Destroy Operator
- **WDO** : Worst Destroy Operator
- **DRDO** : Distance-Related Destroy Operator
- **TRDO** : Time-Related Destroy Operator
- **RODO** : Route Destroy Operator
- **REDO** : Resource Destroy Operator
- **CDO** : Critical Destroy Operator

Retrait de requêtes les plus contraintes temporellement

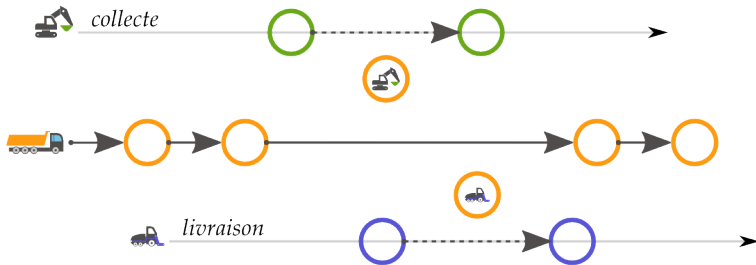
Réparation d'une solution

Framework de réparation

- 1 sélection d'une requête à insérer `RequestSelection`
- 2 insertion de la requête dans la tournée
`RequestInsertion`
- 3 insertion de la requête dans les ressources
`ResourceScheduling`

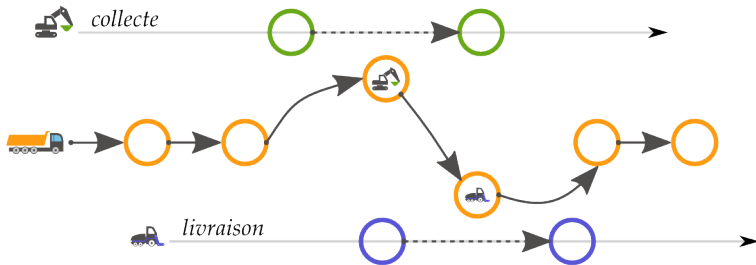
extension de Ebben et al., 2005

Réparation d'une solution



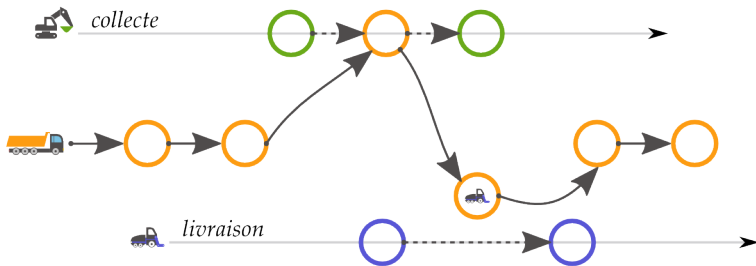
Insertion d'une requête dans la tournée et les ressources

Réparation d'une solution



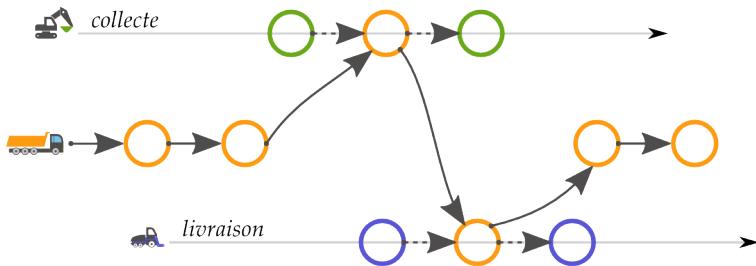
Insertion d'une requête dans la tournée et les ressources

Réparation d'une solution



Insertion d'une requête dans la tournée et les ressources

Réparation d'une solution



Insertion d'une requête dans la tournée et les ressources

Réparation d'une solution

■ REQUESTSELECTION

- **EDD**: livraison au plus tôt (*due date*)
- **EDRD**: disponibilité au plus tôt (*release date*)
- **NSR**: requêtes appartenant à la même demande
- **CI**: meilleure insertion (coût)
- **KR**: K-Regret insertion avec regret (2 et 3)
- **CR**: requête de la ressource la plus occupée

■ REQUESTINSERTION

- **CI**: insertion à la position de meilleur coût
- **ETA**: insère une requête à la fin d'une tournée

■ RESOURCESCHEDULING

- **EF**: insère la requête au plus tôt sur la ressource
- **LF**: insère la requête au plus tard sur la ressource

Réparation d'une solution

■ REQUESTSELECTION

- **EDD**: livraison au plus tôt (*due date*)
- **EDRD**: disponibilité au plus tôt (*release date*)
- **NSR**: requêtes appartenant à la même demande
- **CI**: meilleure insertion (coût)
- **KR**: K-Regret insertion avec regret (2 et 3)
- **CR**: requête de la ressource la plus occupée

■ REQUESTINSERTION

- **CI**: insertion à la position de meilleur coût
- **ETA**: insère une requête à la fin d'une tournée

■ RESOURCESCHEDULING

- **EF**: insère la requête au plus tôt sur la ressource
- **LF**: insère la requête au plus tard sur la ressource

Réparation d'une solution

■ REQUESTSELECTION

- **EDD**: livraison au plus tôt (*due date*)
- **EDRD**: disponibilité au plus tôt (*release date*)
- **NSR**: requêtes appartenant à la même demande
- **CI**: meilleure insertion (coût)
- **KR**: K-Regret insertion avec regret (2 et 3)
- **CR**: requête de la ressource la plus occupée

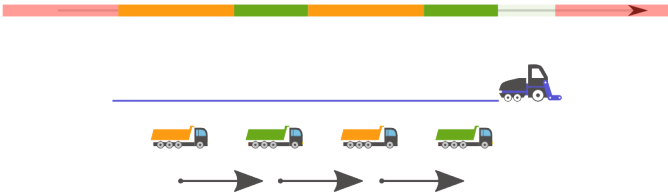
■ REQUESTINSERTION

- **CI**: insertion à la position de meilleur coût
- **ETA**: insère une requête à la fin d'une tournée

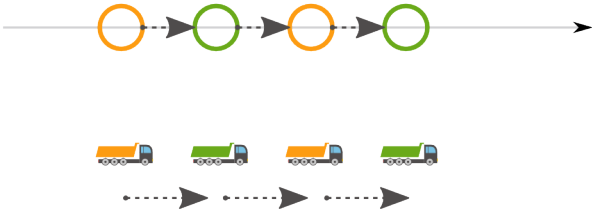
■ RESOURCE SCHEDULING

- **EF**: insère la requête au plus tôt sur la ressource
- **LF**: insère la requête au plus tard sur la ressource

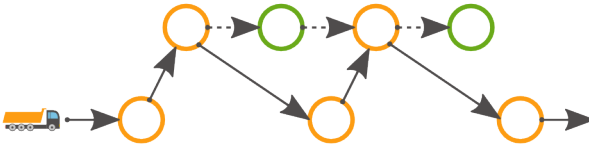
Réalisabilité d'une solution



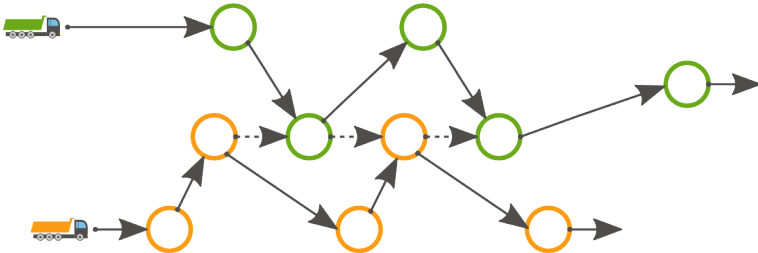
Réalisabilité d'une solution



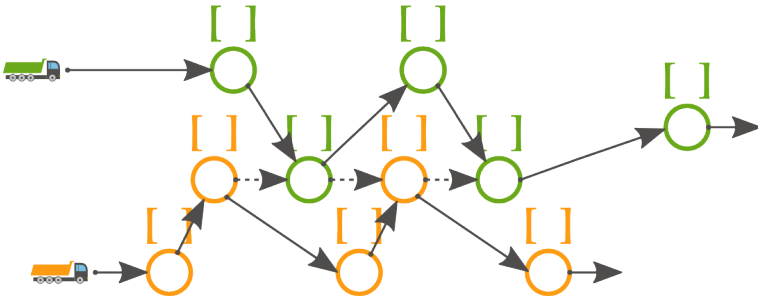
Réalisabilité d'une solution



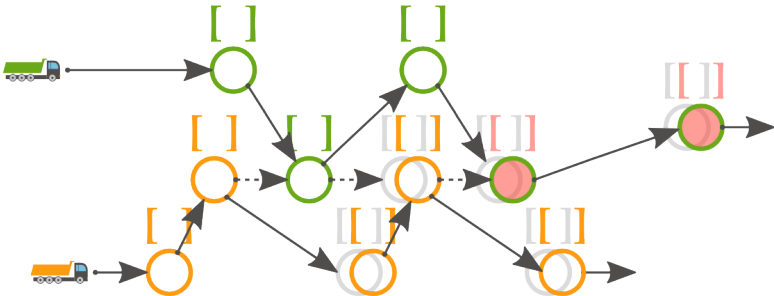
Réalisabilité d'une solution



Réalisabilité d'une solution



Réalisabilité d'une solution



Réalisabilité d'une solution

Forward time slacks (FTS)

Dans un ordonnancement au plus tôt, la marge disponible F_i pour décaler l'heure de service d'un sommet i sans violer les contraintes des successeurs sur la tournée.

Savelsbergh, 1985

- Framework par Masson et al. (2013) pour le PDPT
 - graphe temporel G_t
 - calcul des FTS
 - évaluation incrémentale d'une insertion en $\mathcal{O}(1)$

⇒ Extension pour le problème FT-PDP-RS

Instances de test

Instances de la littérature

- Problème de transports de bois, Hirsch 2011
- 40 instances : 2 jeux (H1-H20 et H21-H40)
- 30 requêtes par instance (camions pleins)
- 2 catégories de camions (flotte hétérogène et fixée)
- temps de service et durée maximale des tournées
- pas de synchronisation, pas de coût fixe

Instances réelles

- Entreprise de travaux publics : Luc Durand
- 7 instances correspondant à 7 journées de transports
- 22 à 85 requêtes (flux tendus et flux détendus)
- 3 catégories de camions (25t, 16t, 12t)

Calibrage de l'algorithme

- Solution initiale pour l'ALNS
 - 2R-CI-EF
- Calibrage sur 8 instances (3 réelles et 5 de la littérature)

Calibrage de l'ALNS

- couche adaptative : conservée (peu de variations avec et sans)
- nombre de requêtes à enlever : [10%, 20%]
- association de tous les opérateurs de destruction

Résultats sur les instances de la littérature

⇒ **Sans** synchronisation aux ressources

H1-H20

- même écart à la borne inférieure que HIRSCH
- 4 solutions améliorées

H21-H40

- pas de borne inférieure
- amélioration de la meilleure solution de 0.14% en moyenne
- 10 solutions améliorées

Résultats sur les instances de la littérature

⇒ **Avec** synchronisation aux ressources
(considérant les sites industriels comme des ressources)

- H1-H20 : +0.27% d'écart à la meilleure solution
- H21-H40 : +0.42% d'écart à la meilleure solution

⇒ Nombre de camions utilisés augmente avec l'occupation de la ressource

Résultats sur les instances réelles

⇒ Résolution avec un solveur MIP GUROBI 6.5.1

Instance	G_{LB}	600s		7200s	
		G_{600}	$GAP_{LB}\%$	G_{7200}	$GAP_{LB}\%$
OS22	2446.00	2776.95	13.53	2546.44	4.11
OS32	4527.28	4909.84	8.45	4820.26	6.47
OS49	6159.78	6992.72	13.52	6806.04	10.49
OU35	2368.73	3996.12	68.70	3545.65	49.69
OU51_1	3879.12	6507.23	67.75	5870.73	51.34
OU51_2	3596.37	6013.83	67.22	5892.94	63.86
OU85	3938.40	-	-	-	-

LB : borne inférieure

Résultats sur les instances réelles

⇒ Résolution avec un solveur MIP GUROBI 6.5.1

Instance	G_{LB}	600s		7200s	
		G_{600}	$GAP_{LB}\%$	G_{7200}	$GAP_{LB}\%$
OS22	2446.00	2776.95	13.53	2546.44	4.11
OS32	4527.28	4909.84	8.45	4820.26	6.47
OS49	6159.78	6992.72	13.52	6806.04	10.49
OU35	2368.73	3996.12	68.70	3545.65	49.69
OU51_1	3879.12	6507.23	67.75	5870.73	51.34
OU51_2	3596.37	6013.83	67.22	5892.94	63.86
OU85	3938.40	-	-	-	-

LB : borne inférieure

Résultats sur les instances réelles

⇒ Résolution avec l'ALNS

Instance	G ₇₂₀₀	# <i>route</i>	A ₂₅₀₀₀	# <i>route</i>	A ₅₀₀₀₀	# <i>route</i>
OS22	2546.44	4	2779.92	5	2779.92	5
OS32	4820.26	9	4840.26	9	4839.84	9
OS49	6806.04	13	6384.11	11	6364.38	11
OU35	3545.65	8	3276.03	6	3264.27	6
OU51_1	5870.73	13	5374.81	10	5374.81	10
OU51_2	5892.94	14	4985.63	9	4950.18	9
OU85	-	-	5902.89	11	5725.13	11

A₂₅₀₀₀: 25000 itérations ou 5000 itérations sans amélioration ou 1h

A₅₀₀₀₀: 50000 itérations

Résultats sur les instances réelles

⇒ Résolution avec l'ALNS

Instance	G ₇₂₀₀	# <i>route</i>	A ₂₅₀₀₀	# <i>route</i>	A ₅₀₀₀₀	# <i>route</i>
OS22	2546.44	4	2779.92	5	2779.92	5
OS32	4820.26	9	4840.26	9	4839.84	9
OS49	6806.04	13	6384.11	11	6364.38	11
OU35	3545.65	8	3276.03	6	3264.27	6
OU51_1	5870.73	13	5374.81	10	5374.81	10
OU51_2	5892.94	14	4985.63	9	4950.18	9
OU85	-	-	5902.89	11	5725.13	11

A₂₅₀₀₀: 25000 itérations ou 5000 itérations sans amélioration ou 1h

A₅₀₀₀₀: 50000 itérations

Analyse de la seconde phase

■ Contributions

- modélisation du problème de FT-PDP-RS
- prise en compte des ressources de capacité unitaire
- extension des travaux sur les FTS à notre problème (test de réalisabilité en temps constant)
- résolution d'instances réelles avec un solveur
- algorithme compétitif avec les algorithmes de la littérature
- bonne qualité de l'algorithme sur des instances réelles

- 1 Présentation de la thèse
- 2 Découpage des demandes en requêtes
- 3 Résolution du FT-PDP-RS
- 4 Résolution du Rich-FT-PDP-RS**
- 5 Conclusions et perspectives

Minimisation de la durée des tournées

⇒ Dans un ordonnancement au plus tôt : présence de temps d'attente sur certains points de collecte et de livraison

- Intégration des durées des tournées dans la fonction objectif du problème $f \rightarrow f'$
- Procédure d'acceptation de la meilleure solution modifiée dans l'ALNS
- Détermination des heures de services en minimisant la durée des tournées grâce à un solveur de PL `coin-or CLP 1.15`
- Heuristique de guidage pour la réparation

Minimisation de la durée des tournées

Instance	A_{25000}	A_{25000} (cas1)		A_{25000} (cas2)	
	f'	f'_{cas1}	$GAP_{f'}$ (%)	f'_{cas2}	$GAP_{f'}$ (%)
OS22	2986.12	2941.43	-1.50	2870.82	-3.86
OS32	5058.77	4968.03	-1.79	4951.60	-2.12
OS49	6649.74	6558.67	-1.37	6569.22	-1.21
OU35	3525.06	3429.81	-2.70	3433.03	-2.61
OU51_1	5676.21	5493.84	-3.21	5528.8	-2.60
OU51_2	5226.12	5076.55	-2.86	5144.33	-1.56
OU85	6302.50	6149.18	-2.43	6097.04	-3.26
<i>moy.</i>			-2.27		-2.46

A_{25000} (cas1) : ALNS avec minimisation de la durée des tournées sur la solution finale

A_{25000} (cas2) : ALNS avec minimisation de la durée des tournées sur la solution finale et procédure de sélection et opérateur de réparation modifié

Ajout des contraintes légales : **pauses-déjeuner**

⇒ Prise en compte des contraintes légales du problème industriel et des pauses-déjeuner

Pauses-déjeuner

- modélisation des pauses-déjeuner comme des sommets dans les tournées
- ajout de pauses-déjeuner à la création d'une solution
- déplacement des pauses-déjeuner lors des itérations de l'ALNS

Ajout des contraintes légales : **pauses-déjeuner**

⇒ Prise en compte des contraintes légales du problème industriel et des pauses-déjeuner



Ajout des contraintes légales : **pauses-déjeuner**

⇒ Prise en compte des contraintes légales du problème industriel et des pauses-déjeuner



Ajout des contraintes légales : **pauses-déjeuner**

⇒ Prise en compte des contraintes légales du problème industriel et des pauses-déjeuner



Ajout des contraintes légales : **pauses-déjeuner**

⇒ Prise en compte des contraintes légales du problème industriel et des pauses-déjeuner



Ajout des contraintes légales : **Rich-FT-PDP-RS**

⇒ Prise en compte des contraintes légales du problème industriel et des pauses-déjeuner

Temps de conduite

- durée maximale de conduite journalière (8h)
- durée maximale de conduite avant de faire une pause (4h30)
- vérification effectuée lors du test de réalisabilité

Ajout des contraintes légales : **Rich-FT-PDP-RS**

⇒ Prise en compte des contraintes légales du problème industriel et des pauses-déjeuner

Instance	A ₂₅₀₀₀ (cas3)		A ₂₅₀₀₀ (cas4)			
	f'_{cas3}	#route	f'_{cas4}	#route	$GAP_{f'_{cas3}}$ (%)	$GAP_{\#route_{cas3}}$
OS22	4826.64	9.60	4730.32	10.9	2.00	1.3
OS32	7971.53	14.6	7815.12	16.2	1.96	1.6
OS49	10669.02	19.3	10542.36	20.3	1.19	1.0
OU35	4471.77	10.3	4230.61	11.7	5.39	1.4
OU51_1	7462.04	16.2	7120.91	15.9	4.57	-0.3
OU51_2	7040.01	14.9	6807.05	15.5	3.31	0.6
OU85	8307.44	16.8	8211.64	17.6	1.15	0.8
<i>moy.</i>					2.8	0.9

A₂₅₀₀₀ (cas3) : ALNS avec retrait de 45 min sur l'horizon de temps

A₂₅₀₀₀ (cas4) : ALNS (cas2) avec pauses-déjeuner et durées maximales

- 1 Présentation de la thèse
- 2 Découpage des demandes en requêtes
- 3 Résolution du FT-PDP-RS
- 4 Résolution du Rich-FT-PDP-RS
- 5 Conclusions et perspectives**

Contributions scientifiques

- Modélisation d'un problème *riche* :
 - modélisation d'une ressource
 - modélisation de contraintes aux ressources
 - modélisation de différentes demandes
- Proposition d'une méthode en deux étapes
 - approche différente de la littérature
 - algorithme efficace **ALNS** sur les problèmes de tournées

⇒ Résolution des verrous scientifiques (transports en camions complets et synchronisation aux ressources)

Contributions et perspectives industrielles

- Contributions logicielles
 - intégration dans le logiciel ODO-VIA
 - connexion à une base de données
 - modélisation de scénarios différents
- Perspective industrielle
 - continuer la phase de test sur des instances réelles
 - intégration du multipériodique dans ODO-VIA
 - piste pour résoudre des instances très contraintes

Communications scientifiques

- 1 papier en revue internationale en révision
 - **An Adaptive Large Neighborhood Search for the Full Truckload Pickup and Delivery Problem with Resource Synchronization**
Computers and Operations Research, (major review)
- 5 conférences internationales
 - GOL2014 (*acte*), VEROLOG2014, ODYSSEUS2015 (x2), VEROLOG2015
- 2 conférences nationales
 - ROADEF2013, ROADEF2015

Perspectives

- Ordonnancement de tournées avec synchronisation aux ressources
 - minimisation de la durée des tournées avec synchronisation aux ressources
 - test adapté d'évaluation d'une insertion

- Application au cas multipériodique

- Problème riche
 - intégration de contraintes sociales supplémentaires
 - requêtes dynamiques (demandes dynamiques)

Perspectives

- Ordonnancement de tournées avec synchronisation aux ressources
 - minimisation de la durée des tournées avec synchronisation aux ressources
 - test adapté d'évaluation d'une insertion

- Application au cas multipériodique

- Problème riche
 - intégration de contraintes sociales supplémentaires
 - requêtes dynamiques (demandes dynamiques)

Perspectives

- Ordonnancement de tournées avec synchronisation aux ressources
 - minimisation de la durée des tournées avec synchronisation aux ressources
 - test adapté d'évaluation d'une insertion

- Application au cas multipériodique

- Problème riche
 - intégration de contraintes sociales supplémentaires
 - requêtes dynamiques (demandes dynamiques)

Optimisation de tournées de camions complets dans le secteur des travaux publics

Axel GRIMAULT

École des Mines de Nantes, Équipe SLP, Laboratoire IRCCyN

Merci pour votre attention

Références I



Asbach, L., Dorndorf, U., and Pesch, E. (2009).
Analysis, modeling and solution of the concrete delivery problem.
European Journal of Operational Research, 193(3):820–835.



Brachner, M. (2013).
Solution methods for combined scheduling and transportation problems.
Master's thesis, Høgskolen i Molde - Vitenskapelig høyskole i logistikk.



Currie, R. H. and Salhi, S. (2004).
A tabu search heuristic for a full-load, multi-terminal, vehicle scheduling problem with backhauling and time windows.
Journal of Mathematical Modelling and Algorithms, 3(3):225–243.



Drexl, M. (2012).
Synchronization in vehicle routing - a survey of vrps with multiple synchronization constraints.
Transportation Science, 46(3):297–316.



Durbin, M. T. and Hoffman, K. (2008).
The dance of the thirty-ton trucks: dispatching and scheduling in a dynamic environment.
Operations Research, 56(1):3–19.



El Hachemi, N., El Hallaoui, I., Gendreau, M., and Rousseau, L.-M. (2015).
Flow-based integer linear programs to solve the weekly log-truck scheduling problem.
Annals of Operations Research, 232(1):87–97.



El Hachemi, N., Gendreau, M., and Rousseau, L.-M. (2013).
A heuristic to solve the synchronized log-truck scheduling problem.
Computers & Operations Research, 40(3):666–673.

Références II



Flisberg, P., Lidén, B., and Rönnqvist, M. (2009).

A hybrid method based on linear programming and tabu search for routing of logging trucks.
Computers & Operations Research, 36(4):1122–1144.



Gronalt, M., Hartl, R. F., and Reimann, M. (2003).

New savings based algorithms for time constrained pickup and delivery of full truckloads.
European Journal of Operational Research, 151(3):520–535.



Gronalt, M. and Hirsch, P. (2007).

Log-truck scheduling with a tabu search strategy.

In Doerner, K., Gendreau, M., Greistorfer, P., Gutjahr, W., Hartl, R., and Reimann, M., editors, *Metaheuristics*, pages 65–88. Springer US.



Hirsch, P. (2011).

Minimizing empty truck loads in round timber transport with tabu search strategies.
International Journal of Information Systems and Supply Chain Management, 4(2):15–41.



Liu, Z., Zhang, Y., and Li, M. (2014).

Integrated scheduling of ready-mixed concrete production and delivery.
Automation in Construction, 48:31–43.



Masson, R., Lehuédé, F., and Péton, O. (2013).

Efficient feasibility testing for request insertion in the pickup and delivery problem with transfers.
Operations Research Letters, 41(3):211–215.

Références III



Palmgren, M., Rönnqvist, M., and Värbrand, P. (2001).

A column generation algorithm for the log truck scheduling problem.

Technical report, Department of Science and Technology, LiTH-MAT-R, Linköping University, Norrköping Sweden.



Palmgren, M., Rönnqvist, M., and Värbrand, P. (2004).

A near-exact method for solving the log-truck scheduling problem.

International Transactions in Operational Research, 11:447–464.



Ropke, S. and Pisinger, D. (2006).

An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows.

Transportation Science, 40(4):455–472.



Savelsbergh, M. W. P. (1985).

Local search in routing problems with time windows.

Operations Research, 4:285–305.



Schmid, V., Doerner, K. F., Hartl, R. F., and Salazar-González, J.-J. (2010).

Hybridization of very large neighborhood search for ready-mixed concrete delivery problems.

Computers & Operations Research, 37(3):559–574.



Schmid, V., Doerner, K. F., Hartl, R. F., Savelsbergh, M. W. P., and Stoecher, W. (2009).

A hybrid solution approach for ready-mixed concrete delivery.

Transportation Science, 43(1):70–85.