

# Un algorithme génétique hybride pour des problèmes de tournées de véhicules multi-attributs

*Thibaut Vidal, Teodor Gabriel Crainic, Michel Gendreau  
Nadia Lahrichi, Walter Rei*



Chaire de recherche industrielle  
du **CRSNG** en management logistique  
**NSERC** Industrial Research Chair  
in Logistics Management

**CIRRELT**  
Centre interuniversitaire  
de recherche  
sur les réseaux d'entreprise,  
la logistique et le transport

**ROADEF 2010**

# Plan de la présentation

- I. Le VRP multi-dépôts périodique
- II. Une approche de résolution par algorithme génétique hybride
- III. Concepts fondamentaux en jeu
  - *Hybridation*
  - *Représentation des solutions sans délimiteurs de routes*
  - *Gestion des solutions irréalisables*
  - *Promotion de la diversité*
- IV. Résultats sur des problèmes courants de la littérature
  - *Résultats comparés aux meilleurs algorithmes pour le PVRP et le MDVRP*
  - *Comparaison de plusieurs méthodes de gestion de la diversité*

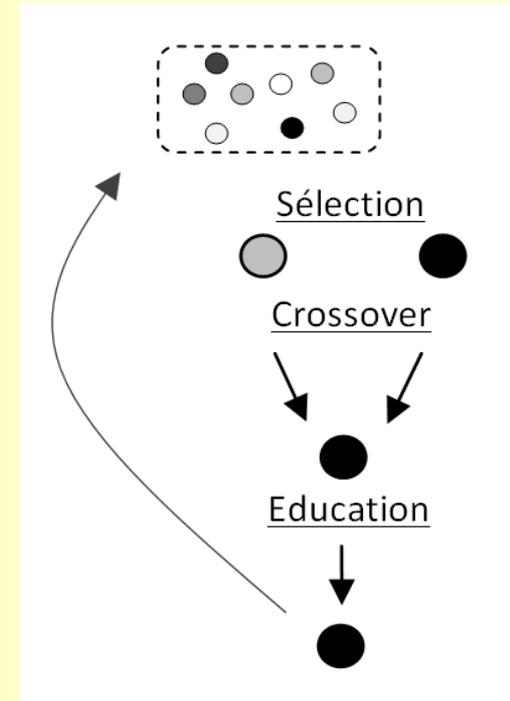
# Le VRP multi-dépôts périodique (MDPVRP)

- ① Généralisation du problème de **tournées de véhicules** (VRP)
- ① **Plusieurs dépôts** où se base un flotte homogène
- ① Problème **périodique** :
  - Planification des tournées sur plusieurs jours
  - Pour chaque client, des combinaisons de jours de livraison acceptables
- ① Objectif : associer chaque client à une combinaison de jours et un dépôt, et créer des routes de façon à ce que la somme des coûts de celles-ci soit minimisée.
- ① Extension aux **fenêtres de temps** et **flotte hétérogène...**

# Approche de résolution utilisée

## ④ Algorithme génétique hybride :

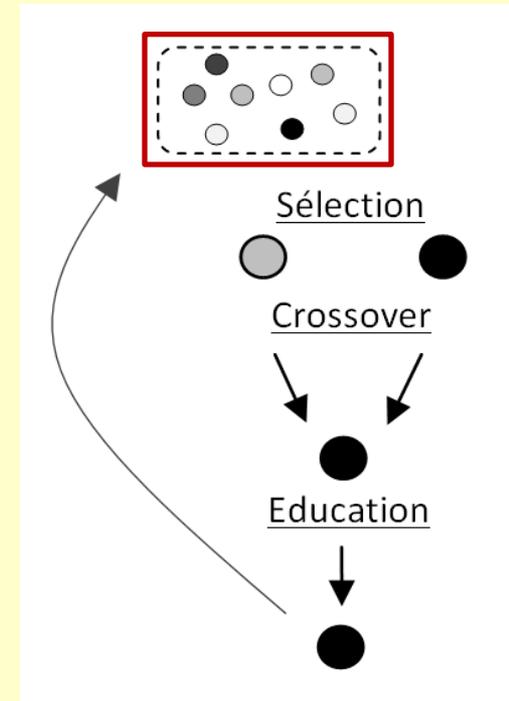
- Opérateurs génétiques classiques
- La mutation aléatoire est remplacée par une *éducation* des rejetons : exploitation de plus d'information sur le problème dans l'approche de résolution (*algorithme mémétique : MA*)
- Population restreinte



# Concepts de l'algorithme

## 🌐 Représentation des solutions

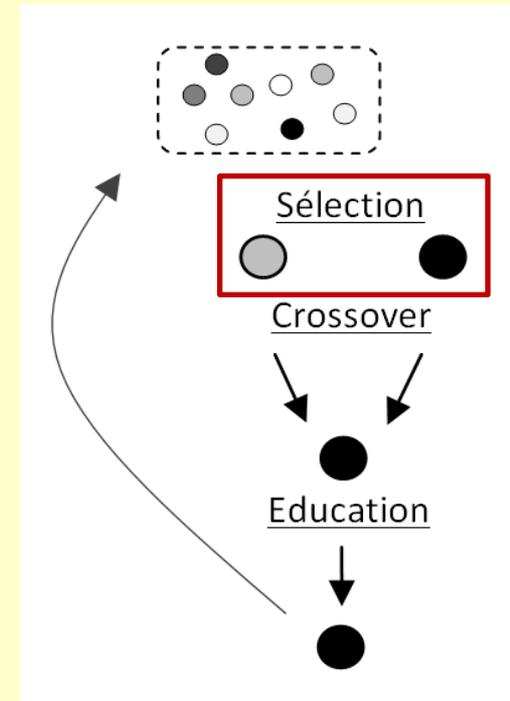
- Chromosomes sans délimiteurs de routes (Prins 2004)
- Pour chaque couple (*jour, dépôt*), une permutation des clients
- Utilisation d'un algorithme «Split» pour déterminer la meilleure segmentation de la chaque séquence sous forme de routes



# Concepts de l'algorithme

## 🌐 Opérateurs génétiques :

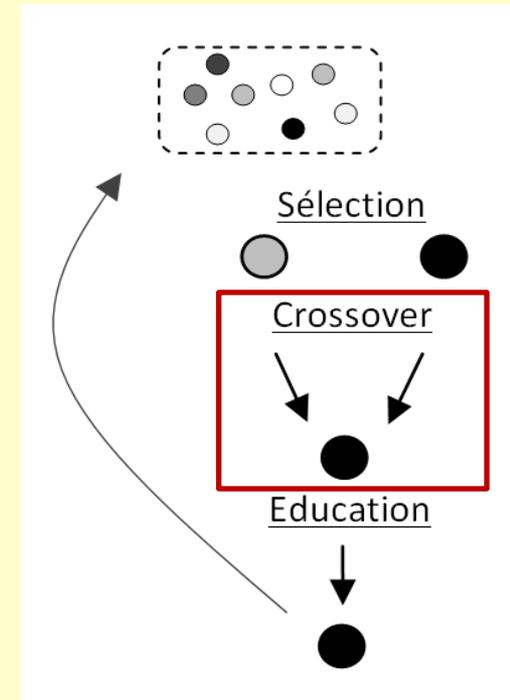
- Développement d'opérateurs génétiques pour le PVRP :
  - Sélection des parents par *Binary Tournament*



# Concepts de l'algorithme

## 🌐 Opérateurs génétiques :

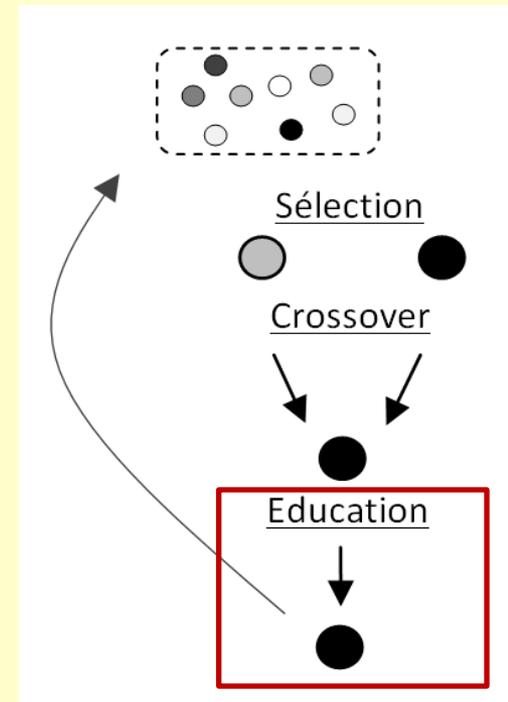
- Développement d'opérateurs génétiques pour le PVRP :
  - Sélection des parents par *Binary Tournament*
  - Nouveau Crossover spécialement adapté aux problèmes périodiques



# Concepts de l'algorithme

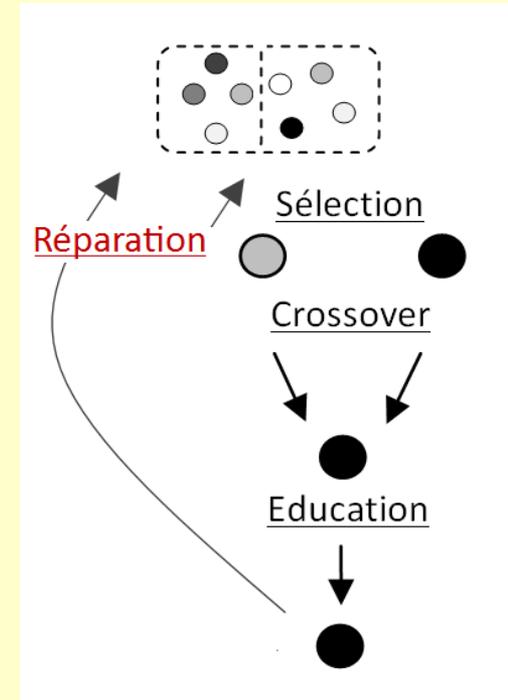
## 🌐 Opérateurs génétiques :

- Développement d'opérateurs génétiques pour le PVRP :
  - Sélection des parents par *Binary Tournament*
  - Nouveau Crossover spécialement adapté aux problèmes périodiques
  - Split, puis Education par recherche locale : *insertions, swaps, 2-opt, 2-opt\**, *pattern changes*.



# Concepts de l'algorithme

- ④ Solutions irréalisables pénalisées ne respectant pas les contraintes de charge ou de temps de trajet d'un camion
- ④ Pénalités adaptatives
- ④ Les solutions irréalisables sont gérées dans une deuxième population
- ④ Mise en place d'opérateurs de réparation



# Concepts de l'algorithme

## 🌐 Gestion de la diversité dans la population:

- **Diversité**, cruciale pour obtenir de bonnes solutions avec un GA hybride : éviter une convergence prématurée
- Méthodes antérieures pour **maintenir la diversité** :
  - Prins (2004) respecter un écart de fitness à l'insertion
  - Sörensen et Sevaux (2006) « *Memetic Algorithm with Population Management (MA/PM)* » : écart de distance à l'insertion
- Introduction de méthodes de **promotion de la diversité** lors de l'évaluation d'un individu (*MADE*)

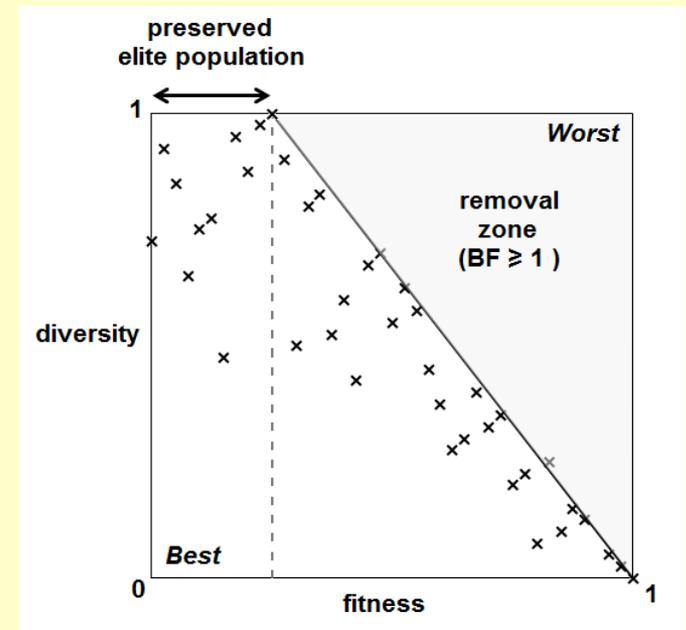
# Concepts de l'algorithme

## 🌐 Promotion de la diversité :

- Evaluation d'un individu : compromis entre son rang relatif en terme de fitness  $fit(I)$ , et son rang relatif en terme de contribution à la diversité  $dc(I)$  :

$$BF(I) = fit(I) + \left(1 - \frac{nbElit}{nbIndiv - 1}\right) \times dc(I)$$

- Eliminer l'individu avec le plus grand  $BF(I)$  garantit des propriétés importantes d'élitisme en terme de fitness



# Résultats

- 🌐 Testé sur les 42 instances de Cordeau, Gendreau, Laporte (1998) pour le PVRP. Comparé aux trois algorithmes les plus performants :
  - Cordeau, Gendreau, Laporte (CGL 1998) : **Tabu Search**
  - Alegre, Laguna, Pacheco (ALP 2007) : **Scatter Search**
  - Hemmelmayr, Doerner, Hartl (HDH 2009) : **Variable Neighborhood Search**

Inst	n	m	t	serv	CGL	ALP	HDH	MADE	BKS
p01	50	3	2	51	524.61	531.02	524.61	<b>524.61</b>	524.61
p02	50	3	5	104	1330.09	1324.74	1332.01	<b>1322.87</b>	1322.87
p03	50	1	5	50	524.61	537.37	528.97	<b>524.61</b>	524.61
p04	75	6	5	75	837.94	845.97	847.48	<b>835.32</b>	835.26
p05	75	1	10	153	2061.36	2043.74	2059.74	<b>2037.04</b>	2027.99
pr01	48	2	4	96	2234.23	—	2209.11	<b>2209.02</b>	2209.02
pr02	96	4	4	192	3836.49	—	3787.51	<b>3771.29</b>	3774.09
pr03	144	6	4	288	5277.62	—	5243.09	<b>5174.10</b>	5175.15
pr04	192	8	4	384	6072.67	—	6011.39	<b>5914.63</b>	5914.93
pr05	240	10	4	480	6769.8	—	6778.00	<b>6646.75</b>	6618.95
pr06	288	12	4	576	8462.37	—	8461.45	<b>8286.30</b>	8258.08
					1.34%		1.16%	0.11%	
					3.84 min		3.12 min	9.55 min	

- 🌐 Intervalle d'incertitude sur nos mesures moyennes de  $\pm 0.01\%$

# Résultats

- Testé sur les 42 instances de Cordeau, Gendreau, Laporte (1998) pour le PVRP. Comparé aux trois algorithmes les plus performants :

	CGL	HDH	HDH	HDH	MADE	MADE	MADE
	15.10 <sup>3</sup> it	10 <sup>7</sup> it	10 <sup>8</sup> it	10 <sup>9</sup> it	(2.10 <sup>4</sup> ,20min)	(3.10 <sup>4</sup> ,1h)	(5.10 <sup>4</sup> ,2h)
T	3.96 min	3.09 min	—	—	8.17 min	18.09 min	33.18 min
%	+1.82%	+1.45%	+0.76%	+0.39%	+0.13%	+0.08%	+0.02%

- Égalisation ou amélioration de toutes les solutions de référence
- 20 nouvelles BKS
- Les 15 solutions optimales connues (Baldacci, Bartolini, Mingozzi,Valletta 2010) sont atteintes

# Résultats

- ④ GA testé sur les 33 instances de Cordeau, Gendreau, Laporte (1998) pour le MDVRP.
  - Cordeau, Gendreau, Laporte (CGL 1998) : **Tabu Search**
  - Ropke, Pisinger (PR 2007) : **Adaptive Large Neighborhood Search**

	CGL 15.10 <sup>3</sup> it	ALNS 25.10 <sup>3</sup> it	ALNS 50.10 <sup>3</sup> it	MADE (2.10 <sup>4</sup> ,20min)	MADE (3.10 <sup>4</sup> ,1h)	MADE (5.10 <sup>4</sup> ,2h)
T	—	1.77 min	3.54 min	8.56 min	16.53 min	28.69 min
%	+0.96%	+0.52%	+0.34%	-0.04%	-0.06%	-0.07%

- ④ Égalisation ou amélioration de toutes les solutions de référence
- ④ 9 nouvelles BKS
- ④ Les 5 solutions optimales connues (Baldacci, Mingozzi 2009) sont atteintes

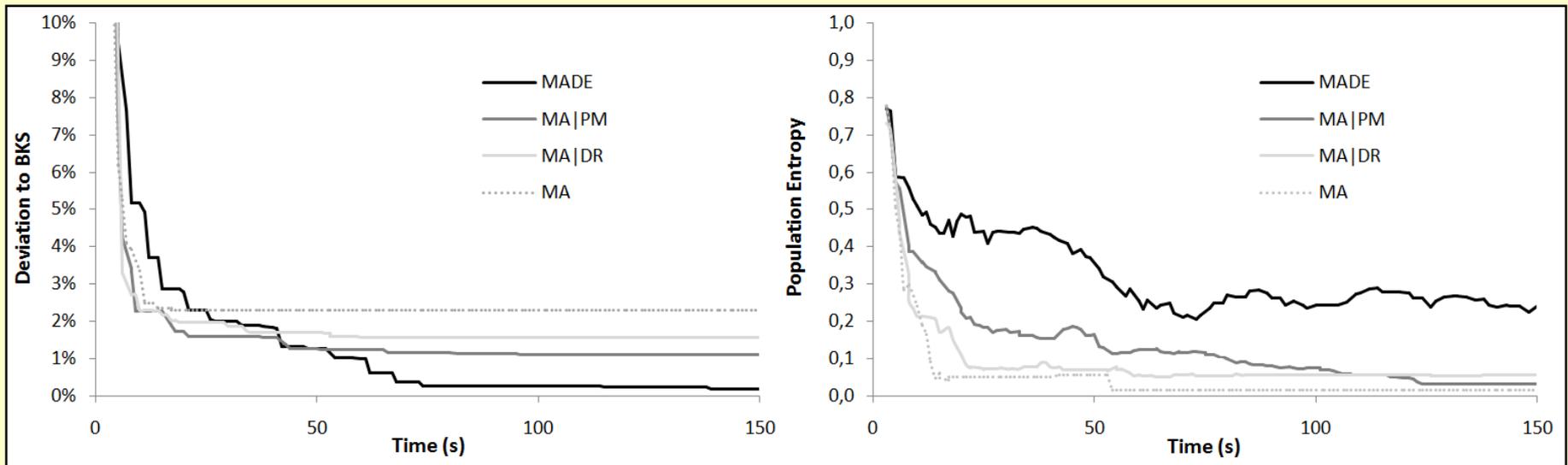
# Gestion de la diversité

- ⊕ Comparaison avec d'autres méthodes de gestion de la diversité, comportement en moyenne
  - **MA** : Algorithme mémétique sans gestion de la diversité
  - **(MA|DR)** : Préservation de la diversité, règle de dispersion en termes de fonction objectif
  - **(MA|PM)** : Préservation de la diversité, distance minimum lors de l'insertion d'un individu
  - **MADE** : Promotion de la diversité lors de l'évaluation des solutions

Benchmark		MA	(MA DR)	(MA PM)	MADE
PVRP	T	6.86 min	7.01 min	7.66 min	8.17 min
	%	+0.64%	+0.49%	+0.39%	+0.13%
MDVRP	T	7.93 min	7.58 min	9.03 min	8.56 min
	%	+1.04%	+0.87%	+0.25%	-0.04%
MDPVRP	T	25.32 min	26.68 min	28.33 min	40.15 min
	%	+4.80%	+4.07%	+3.60%	+0.44%

# Gestion de la diversité

- ⊕ Comparaison avec d'autres méthodes de gestion de la diversité, comportement au cours d'une exécution
  - Entropie importante
  - Meilleure solution finale
  - MADE peut induire une croissance de la diversité



# Conclusions

- ④ Algorithme génétique hybride pour le MDPVRP et ses sous-problèmes
  - Nouveaux opérateurs
  - Méthodes de promotion de la diversité
  - Gestion des solutions irréalisables dans une seconde population
- ④ Amélioration de l'état de l'art sur des problèmes classiques (PVRP et MDVRP)
- ④ Enrichissement progressif des problèmes traités
- ④ Nouveaux concepts susceptibles d'être testés hors contexte du VRP, ou abordés théoriquement.

# Références

- ④ Alegre, J.; Laguna, M. & Pacheco, J.  
Optimizing the periodic pick-up of raw materials for a manufacturer of auto parts  
*European Journal of Operational Research*, **2007**
- ④ Baldacci, R. & Mingozzi, A.  
A unified exact method for solving different classes of vehicle routing problems.  
*Mathematical Programming*, **2009**
- ④ Baldacci, R.; Bartolini, E.; Mingozzi, A. & Valletta, A.  
An exact algorithm for the periodic routing problem.  
*submitted for publication*, **2010**
- ④ Cordeau, J. F.; Gendreau, M. & Laporte, G.  
A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems  
*Networks*, **1997**
- ④ Hemmelmayr, V. C.; Doerner, K. F. & Hartl, R. F.  
A variable neighborhood search heuristic for periodic routing problems  
*European Journal of Operational Research*, **2009**

# Références

- ④ Hemmelmayr, V. C.; Doerner, K. F. & Hartl, R. F.  
A variable neighborhood search heuristic for periodic routing problems  
*European Journal of Operational Research*, **2009**
- ④ Ropke, S. & Pisinger, D. A general heuristic for vehicle routing problems  
*Computers & Operations Research*, **2007**
- ④ Prins, C. A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem,  
*Computers & Operations Research*, **2004**
- ④ Sörensen, K. & Sevaux, M. MAPM: memetic algorithms with population management,  
*Computers & Operations Research*, **2006**

# Merci !!!

Merci pour votre attention 😊

Je suis là pour répondre à vos questions

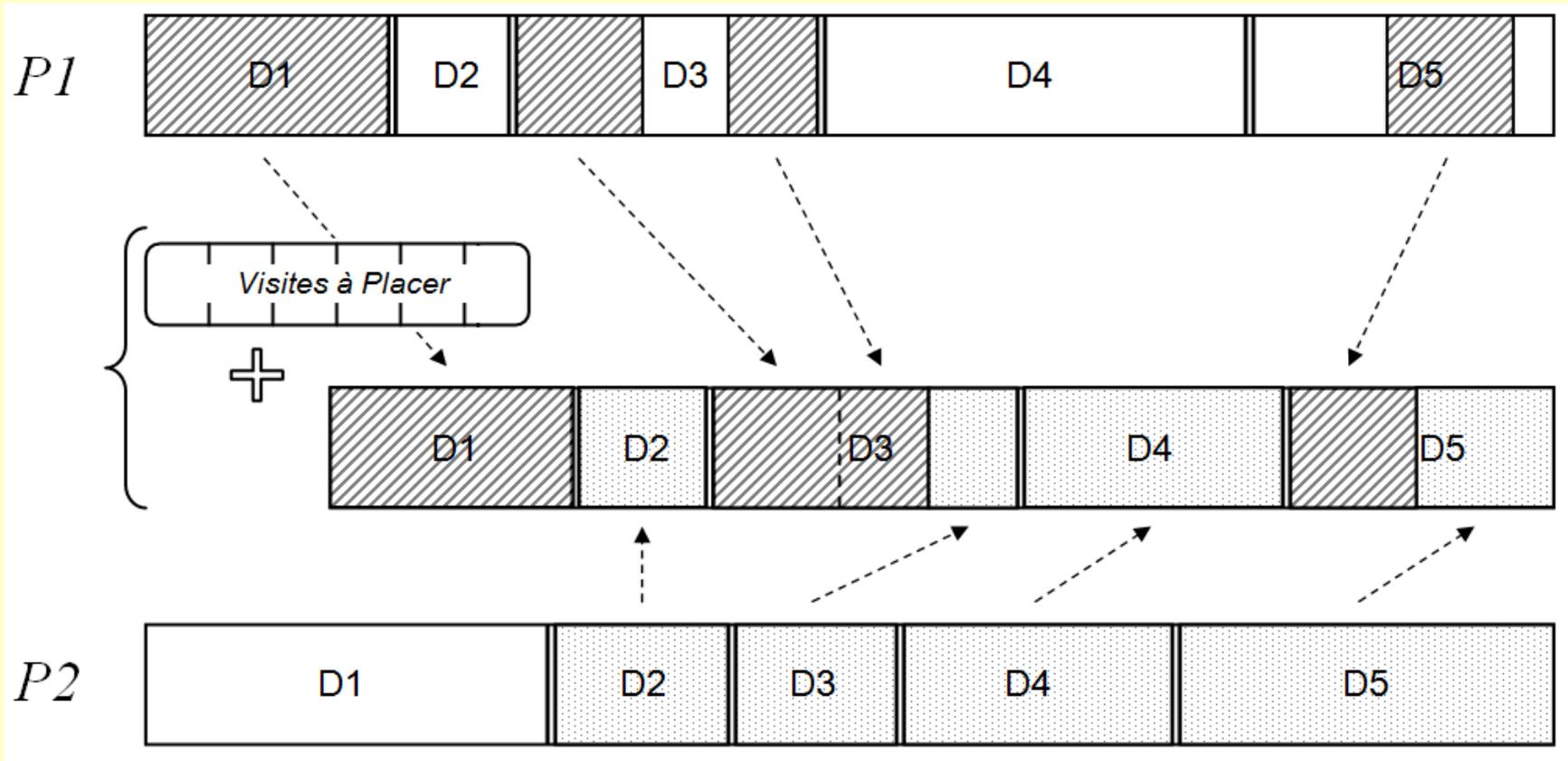
# Annexe 1 : Crossover pour le PVRP

- ④ Pour chaque couple (jour/dépôt) du parent P1, choisir aléatoirement
  - Recopier toute la séquence de services de P1 pour ce couple
  - Ne pas recopier de contenu de P1
  - Recopier une séquence de services contigües
  
- ④ Le parent P2 est parcouru dans un ordre aléatoire de (jour/dépôt).  
Pour chaque visite, celle-ci est copiée si :
  - Tout le contenu de P1 n'a pas été copié pour ce couple
  - L'insertion est compatible avec au moins une séquence de visites du client
  - Le nombre total de services souhaités par ce client n'est pas atteint
  
- ④ A l'issue de ce processus, certains clients peuvent être associés à un nombre insuffisant de visites.
  - Ajout des visites manquantes après l'exécution de Split, via un critère de coût minimum d'insertion

# Annexe 1 : Crossover pour le PVRP

- ④ Crossover fonctionnel, qui regroupe un certain nombre de bonnes propriétés
  - Corrélation respectée
  - Possibilité de recopier un individu en entier, d'apporter des modifications mineures ou majeures
  - Rapidité
  - Tout individu peut-être créé ainsi

# Annexe 1 : Crossover pour le PVRP



# Annexe 2 : Calibration des paramètres

- ④ Scepticisme envers les GA : grand nombre de paramètres
  - Le choix de bons paramètres de l'algorithme est déjà un problème très difficile, corrélation entre paramètres
  - Beaucoup de temps de recherche consacré à cet aspect
- ④ Mise en place d'un processus de méta-calibration
  - Une méta-heuristique se charge de résoudre le problème P :  
$$P \left\{ \begin{array}{l} \textit{Trouver les meilleurs paramètres du GA :} \\ \textit{Solution} = \textit{valeurs des paramètres} \\ \textit{Evaluation} = \textit{exécutions du GA avec ces paramètres sur un jeu} \\ \textit{d'instances représentatives} \end{array} \right.$$
  - Support à la recherche, permet de se libérer d'un travail fastidieux
  - Peut conduire à des simplifications de l'algorithme qui n'avaient pas été vues