

Quelle approche pour le Transport à la Demande

Sommaire

2.1 De l'optimalité d'une solution	32
2.1.1 Un cas représentatif de TAD	32
2.1.2 Quels objectifs ?	33
2.2 Les grands problèmes de tournées	34
2.2.1 Le problème du voyageur de commerce	35
2.2.2 Les problèmes de tournées	36
2.2.3 Besoin de nouvelles instances	42
2.3 Une approche interdisciplinaire du TAD	42
2.3.1 Pluridisciplinarité ou interdisciplinarité : quelle posture ?	42
2.3.2 Une démarche complémentaire	44

Introduction

Différents instituts et équipes travaillent sur la question du TAD. Qu'elles relèvent des sciences humaines, de l'informatique ou de l'aménagement, ces équipes s'attachent généralement à un point particulier de la recherche sur le TAD. Il peut s'agir par exemple de définir des méthodologies de déploiement, ou développer des algorithmes, ou encore étudier l'impact sociétal du TAD.

Ainsi le TAD a suscité l'intérêt des personnes travaillant sur les problèmes de mobilité (Bailly et Heurgon, 2001; Wiel, 2002) et de ceux travaillant sur son impact sociétal comme les membres de *l'Institut pour la ville en mouvement* dont les travaux ont donné lieu à un ensemble de publications (Le Breton *et al.*, 2000; Le Breton, 2001; Ascher, 2002).

D'autres travaux portant sur l'amélioration des systèmes d'aide à la décision sont menés par l'INRETS¹ qui a conduit une thèse sur l'utilisation des systèmes multi-agents pour simuler des TAD (Zargayouna, 2005).

L'état de l'art des recherches en TAD présenté dans ce chapitre vise à comprendre les problèmes techniques qui se posent aux déploiements de services. À cette fin, un exemple représentatif de TAD est tout d'abord proposé en première section. Différentes politiques de desserte illustrent par ailleurs la difficulté des choix d'optimisation.

Concernant l'optimisation proprement dite, un ensemble de méthodes informatiques consacrées au « *dial-a-ride problem* », formalisant le transport de personnes, montre les orientations scientifiques de la discipline. Ces méthodes sont discutées puis classées dans un tableau synthétique, selon les critères pertinents et utiles à notre démarche.

Ainsi les recherches consacrées au TAD sont menées de front par différentes disciplines et donnent lieu à des contributions (pluri)disciplinaires. Il semble opportun de définir plus avant les différences existant entre *interdisciplinarité* et *pluridisciplinarité*, ces deux mots étant souvent, à tort, utilisés comme synonymes.

En dernier lieu, nous passons en revue un ensemble de travaux réalisés par le réseau thématique TADvance, que la présente thèse vient compléter du point de vue méthodologique.

2.1 De l'optimalité d'une solution

2.1.1 Un cas représentatif de TAD

À travers cette section, nous introduisons les concepts d'optimum et d'optimisation dans le cadre d'un problème de TAD classique. Dans l'exemple de la figure 2.1, quatre clients se rendent au même endroit (D) pour le même horaire et nous cherchons une solution pour les transporter.

Selon la politique de desserte appliquée, la solution « optimale » varie en fonction des critères adoptés. Le tableau 2.1 présente trois solutions, chacune optimale pour un objectif plutôt :

- économique : puisque l'utilisation de véhicules supplémentaires engendre un surcoût, nous n'en utilisons qu'un pour prendre en charge tous les clients. Cependant, l'économie réalisée se fait au détriment de la qualité de service. En effet, les

¹Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité

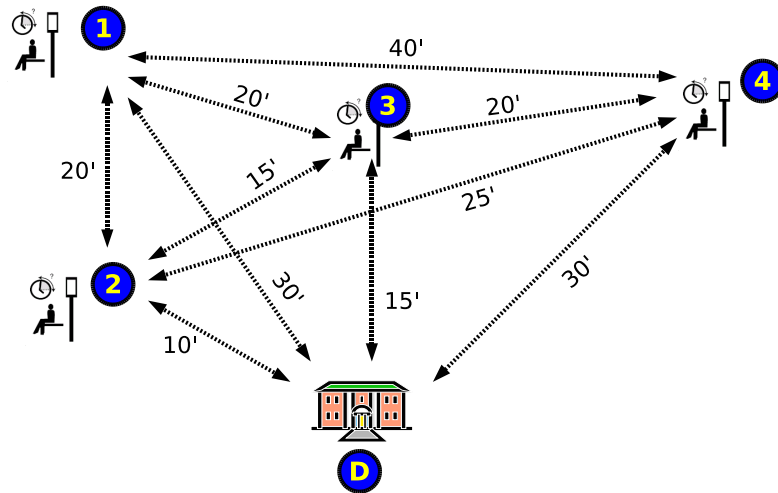


FIG. 2.1: Exemple d'optimisation de TAD : nous cherchons une solution pour acheminer quatre clients se rendant au point D. Les horaires sont cohérents.

retards cumulés sont très grands (70 minutes) par rapport aux temps théoriques de parcours ;

- de qualité de service au client : en affretant trois véhicules, les clients acheminés ne souffrent d'aucun retard, par-contre le cumul des temps de parcours augmente, engendrant une plus forte émission de polluants (CO_2) et le coût économique du service fait plus que tripler (nombre de véhicules plus le carburant) ;
- environnemental : la troisième solution réduit le cumul des temps de parcours (65 minutes) pour limiter l'émission de polluants. Néanmoins, cette solution accuse un léger retard (5 minutes) et nécessite deux véhicules.

2.1.2 Quels objectifs ?

Si nous plaçons ces trois objectifs à égalité et que nous les optimisons concurremment, les trois solutions présentées sont équivalentes puisque chacune d'entre elles maximise (ou minimise) un objectif en particulier. Il appartient finalement à l'AOT (Autorité Organisatrice des Transports) de décider de la solution à mettre en œuvre.

Pour cela, nous proposons d'orienter notre recherche de solutions au TAD en fonction de trois objectifs :

- minimiser le nombre de véhicules : objectif *économique* ;
- minimiser les temps de parcours : objectif *environnemental* ;
- minimiser les retards : objectif de *qualité de service*.

Ces objectifs sont contraints par :

- le nombre de véhicules ;

Objectif à minimiser	Résultats	
Nombre de véhicules « économie »	Séquence d'arrêts	$4 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow D$
	Nombre de véhicules	1
	Perte de temps clients	$r(1) = 0'; r(2) = 0'; r(3) = 35'; r(4) = 40'$ Total = $75'$
	Temps de parcours total	$t_{4 \rightarrow 3} + t_{3 \rightarrow 1} + t_{1 \rightarrow 2} + t_{2 \rightarrow D} = 70'$ Total = $70'$
Perte de temps clients « qualité de service »	Séquence d'arrêts	$4 \rightarrow D; 3 \rightarrow D; 1 \rightarrow 2 \rightarrow D$
	Nombre de véhicules	3
	Perte de temps clients	$r(1) = 0'; r(2) = 0'; r(3) = 0'; r(4) = 0'$ Total = $0'$
	Temps de parcours total	$t_{4 \rightarrow D} = 30'; t_{1 \rightarrow 2} + t_{2 \rightarrow D} = 30'; t_{3 \rightarrow D} = 15'$ Total = $75'$
Temps de parcours « environnement »	Séquence d'arrêts	$4 \rightarrow 3 \rightarrow D; 1 \rightarrow 2 \rightarrow D$
	Nombre de véhicules	2
	Perte de temps clients	$r(1) = 0'; r(2) = 0'; r(3) = 0'; r(4) = 5'$ Total = $5'$
	Temps de parcours total	$t_{1 \rightarrow 2} + t_{2 \rightarrow D} = 30'; t_{3 \rightarrow 4} + t_{4 \rightarrow D} = 35'$ Total = $65'$

TAB. 2.1: Plusieurs solutions optimales au problème de TAD de la figure 2.1, $r(x)$ indique le retard pour x , $t_{x \rightarrow y}$ indique le temps de parcours de x à y . Les temps sont exprimés en minutes.

- les horaires ;
- la tolérance des clients vis-à-vis des retards occasionnés.

Le problème d'optimisation de transport de personnes est bien connu en informatique, qui est mise à contribution pour pallier les très fortes complexités (cf. annexe B) de ces problèmes. C'est l'objet de la section suivante.

Aussi, les méthodes d'optimisation que nous proposons, sont associées au « dial-a-ride problem » qui vise à optimiser les tournées.

2.2 Les grands problèmes de tournées

Dans sa formalisation, le TAD appartient à la famille des problèmes de tournées très étudiés en recherche opérationnelle. Nous ne définissons pas une taxonomie exhaustive des problèmes de tournées étudiés en informatique, mais nous en rappelons les principaux qui ont trait au TAD. Nous commençons par un rappel du problème du voyageur de commerce, qui est à la base de tous les problèmes de tournées.

Pour étudier ces différents problèmes de tournées, nous nous basons nécessairement sur la théorie des graphes (cf. annexe A), où le problème de desserte est représenté

par un graphe G , dont les sommets représentent les différents points de passage du problème.

Soit $G = (S, E)$ un graphe tel que :

- $S = \{x_i\}$, avec $i \leq |S|$, $|S| = p$ le nombre de sommets du graphe G , x_i un sommet du graphe G ;
- $E = S \times S$, l'ensemble des arêtes du graphe G .

2.2.1 Le problème du voyageur de commerce

Le problème du voyageur de commerce (*Travelling Salesman Problem, TSP*), déjà étudié par Kruskal (1956) et Flood (1956), consiste à visiter un ensemble de villes une seule fois en revenant au point de départ, tout en minimisant la distance parcourue. Départ et arrivée de la tournée sont confondus mais ne sont pas fixés préalablement à l'instar de l'exemple de la figure 2.2.1.

Soit F l'ensemble des arêtes empruntées, tel que $F \subset E$ et $p' = |F|$. Soit d_a la longueur de l'arête $a \in F$. L'objectif du TSP est donc :

$$\min \sum_{a \in F}^{p'} d_a$$

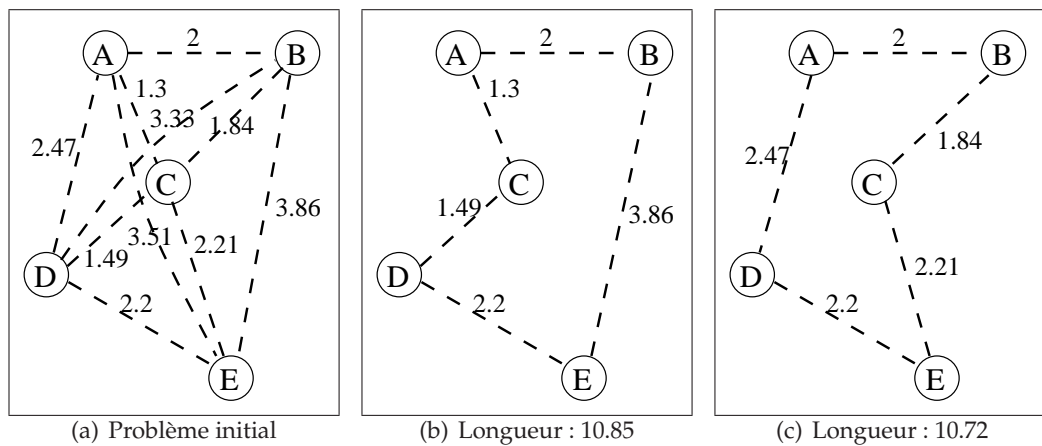


FIG. 2.2: Exemple de TSP avec cinq communes : la tournée (b) n'est pas optimale tandis que la tournée (c) minimise la distance parcourue.

Dans sa forme de base, le TSP ne dispose que d'un seul véhicule (autrement dit un seul chemin), mais l'on peut travailler avec n véhicules. C'est le n -TSP, qui consiste à minimiser la somme linéaire des distances parcourues par chacun des n véhicules $v \in V$ (V est l'ensemble des véhicules) qui se partagent la visite de l'ensemble des villes :

$$\min \sum_{v \in V} \sum_{a \in F} d_a$$

Le TAD est d'un niveau de complexité plus grand puisque les clients montent dans le véhicule à un arrêt pour descendre à un autre et que la qualité de service entre en ligne de compte.

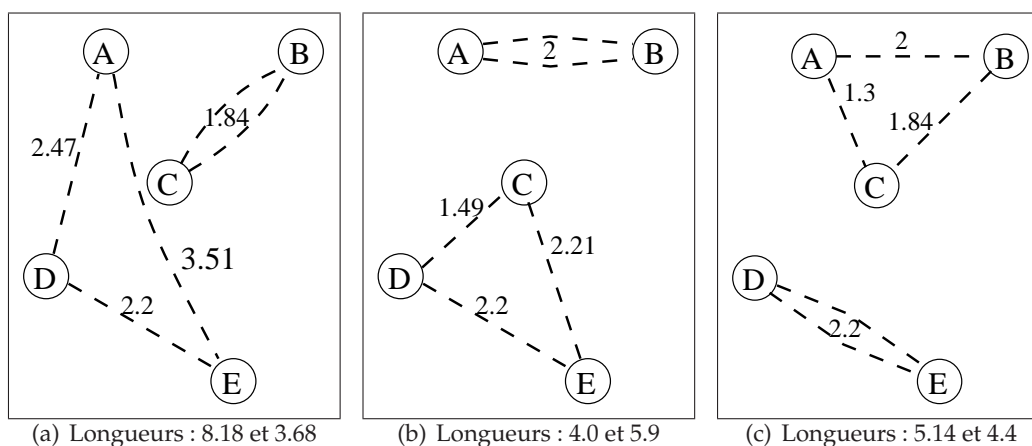


FIG. 2.3: Exemple de 2-TSP avec cinq communes (A, B, C, D et E) : la tournée (c) est optimale car elle minimise la somme linéaire des distances parcourues par les deux véhicules.

2.2.2 Les problèmes de tournées

Pourtant très étudiés en informatique à en juger l'importante littérature consacrée à leurs sujets, les problèmes de tournées ne disposent pas de définitions académiques génériques. Cependant, trois problèmes semblent constituer l'essence même des problèmes de tournées et de leurs variantes, transportant marchandises ou individus, applicables au TAD. Ces problèmes, souvent assimilés au *Dial-a-Ride Problem* (DARP) pour le transport de personnes, ou encore au *Pick-up and Delivery Problem* (PDP) pour les marchandises, se différencient en problèmes plus spécifiques répondant à des objectifs précis sous contraintes.

Ainsi, une première généralisation des problèmes de tournées a été proposée par Savelsbergh et Sol (1995), qui classe le DARP comme un sous-problème du *General Pick-up*

and Delivery Problem qui cherche les meilleures tournées sans correspondance répondant à un ensemble de requêtes de transport, chacune étant définie par sa charge, son origine et sa destination. De cette définition générale découlent trois sous-problèmes, très étudiés en informatique et en recherche opérationnelle :

1. Le *Pick-up and Delivery Problem*, où chaque requête de transport spécifie une origine et une destination uniques et où tous les véhicules partent et reviennent en un dépôt central ;
2. Le *Vehicle Routing Problem* (VRP), qui est un PDP dans lequel toutes les origines ou toutes les destinations se confondent avec le dépôt central ;
3. Le *Dial-a-Ride Problem*, qui est quant à lui, un PDP où l'on considère des personnes, i.e. d'un point de vue formel, une charge à transporter vaut 1 et cette charge peut avoir un rôle dans la recherche d'optimalité (qualité de service pour le voyageur).

Une fois cette taxonomie de base établie, les variantes possibles de ces sous-problèmes se distinguent notamment dans les contraintes posées à la résolution : nombre et capacités des véhicules (contraintes physiques inviolables), temps de parcours et de desserte (contraintes temporelles, potentiellement transgressables selon la tolérance octroyée). Ces tolérances suggèrent la mise en place de fenêtres de temps : des marges temporelles situées sur les prises en charge et/ou dessertes, ou sur le parcours total, qui offrent aux véhicules une tolérance dans la réalisation de leurs parcours, comme par exemple le VRP *with time windows* (Bräysy et Gendreau, 2005). Puis viennent toutes les considérations relevant de la qualité de service, c'est-à-dire les souhaits exprimés par le client, comme le temps qu'il est prêt à accorder à son voyage. Ces considérations permettent éventuellement des détours pour prendre en charge d'autres marchandises ou clients, jouant sur l'élasticité des fenêtres de temps et sur les temps de parcours ou délais de livraison souhaités. Regardons maintenant plus en détail le transport de personnes que constitue le DARP, qui est à la base du TAD.

Le Dial-a-Ride Problem

Le DARP consiste en l'organisation et la conception de tournées de véhicules pour n utilisateurs requérant chacun leur propre lieu de prise en charge et leur propre lieu de desserte. Dans sa version de base, le DARP est résolu avec une flotte de véhicules identiques, ayant tous les mêmes caractéristiques et le même dépôt. L'objectif de ce problème consiste à planifier une tournée en répondant au mieux aux souhaits des usagers (qualité de service, durées des courses) tout en minimisant les coûts de fonctionnement

(nombres de véhicules et de chauffeurs nécessaires...). Un exemple classique d'utilisation est le service de transport de personnes de « porte-à-porte » (Diana et Dessouky, 2004), où la recherche opérationnelle peut aider à parachever ces objectifs en fournissant des solutions fiables à coûts réduits.

Dans le cadre de notre étude, nous ne considérons pas les dépôts des véhicules. Il ne s'agit pas là d'une volonté de simplifier le problème, mais il faut bien comprendre que le TAD ne fonctionne pas comme un transport de type ambulance qui revient systématiquement à son hôpital de rattachement. En effet, les véhicules peuvent demeurer au dernier arrêt desservi en attendant la prochaine course. De plus, si nous tenons compte des densités des demandes de transport, nous pouvons envisager que les zones de desserte correspondent également à des zones de départ. Aussi, le concept de dépôt ne constitue pas un élément clé de notre application. Également, se pose le problème du prépositionnement des véhicules qui constitue une recherche en soi et que nous ne traitons pas dans cette thèse.

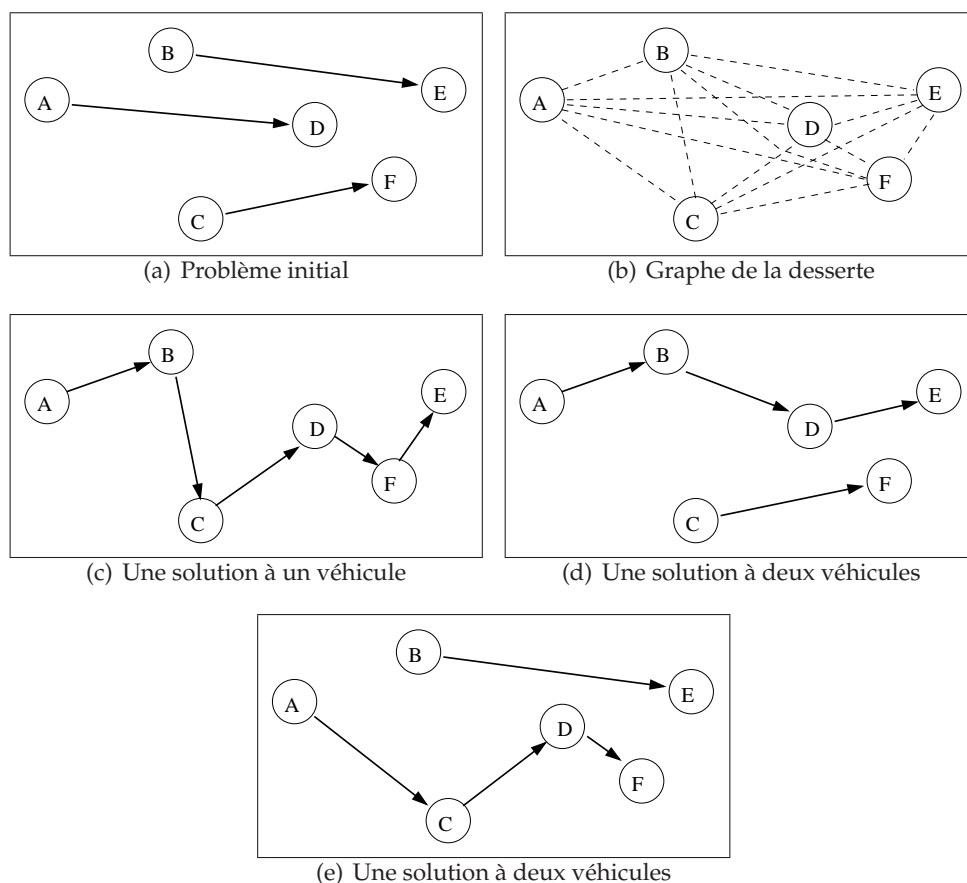


FIG. 2.4: Exemple de DARP avec trois demandes : $A \rightarrow D$, $B \rightarrow E$, $C \rightarrow F$.

D'un point de vue conceptuel, le DARP généralise certains problèmes de tournées, comme le *Pickup and Delivery Vehicle Routing Problem* (PDVRP), où le service effectue des prises en charge et des dessertes tout le long du parcours, ou encore le *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW), où des fenêtres de temps, de tailles variables, existent en chaque point de la tournée (Desrosiers *et al.*, 1995; Desaulniers *et al.*, 2002). Une description de ces problèmes est fournie dans (Cordeau et Laporte, 2007), mais globalement ces problèmes sont des spécialisations du DARP en introduisant des contraintes sur les prises en charge et dessertes le long du parcours et sur les fenêtres de temps correspondantes.

En outre, ce qui différencie le DARP des autres problèmes de tournées, c'est la prise en charge d'individus qui pose de nouvelles conditions à la résolution des problèmes, notamment pour réduire les contraintes et inconvénients imposés au voyageur. Cette nouvelle donne conceptuelle doit pourtant trouver un équilibre avec la réduction des coûts de fonctionnement. Le DARP correspond donc à la recherche de l'équilibre entre deux objectifs contradictoires : minimiser les coûts d'une part, et satisfaire au mieux le client d'autre part. C'est d'ailleurs la principale particularité d'un DARP, à savoir intégrer des critères de qualité de service (*Quality of Service*, QoS) dans la recherche de l'optimum.

Les services de type DARP fonctionnent soit en mode statique, soit en mode dynamique. Dans le premier cas, toutes les requêtes de transport sont connues à l'avance, permettant ainsi une bonne optimisation du problème, tandis que dans le second cas, les requêtes sont connues au fur et mesure, et les tournées sont adaptées en temps réel pour prendre en compte ces nouvelles demandes. Dans la pratique, il est vraiment très rare d'avoir un service totalement dynamique, plus délicat à optimiser. Généralement, les demandes sont connues à l'avance pour trouver de meilleures tournées.

La résolution du DARP prend également en compte les capacités des véhicules de la flotte, qui est généralement hétérogène. Une des considérations majeures dans ces problèmes est de trouver la flotte la plus adaptée en terme de quantité de véhicules requis d'une part, et de maximiser les taux de remplissage de ces véhicules d'autre part. Ces deux objectifs vont souvent de paire, mais il faut parfois trouver un compromis entre les critères considérés. Par exemple, les critères de qualité de service regroupent les temps des courses, les distances parcourues, les temps d'attente, les temps passés dans le véhicule pour chaque client...

Plusieurs modèles mathématiques existent, notamment celui de Cordeau (2006) et celui de Ropke *et al.* (2006) décrivant formellement les contraintes et les objectifs à atteindre.

Le tableau 2.2 donne une vue synthétique des algorithmes de résolution du DARP :

- des méthodes exactes, qui fournissent les *meilleures solutions* comme :
 - l'énumération exhaustive des solutions, consistant à étendre un l'ensemble des solutions de manière incrémentale ;
 - les procédures de recherche arborescente (recherche récursive sur graphes) de divers types, telles que « Branch-and-Cut » qui élague dans l'arbre de recherche les mauvaises branches de solutions.
- des heuristiques, qui cherchent de *bonnes solutions* telles que :
 - les méthodes inspirées de la nature, comme les algorithmes génétiques (génération d'ensembles de solutions successifs par analogie avec les principes de sélection naturelle de Darwin (1859)) ;
 - les méthodes de voisinage, comme la recherche tabou (recherche locale avec interdiction temporaire de retour arrière).

Cette synthèse est bâtie sur l'état de l'art de Cordeau et Laporte (2007) et étendue notamment avec la contrainte géographique (*Géo* : formes des tournées et polarisation du territoire (cf. chap. 3)).

Comme le montre ce tableau, l'introduction d'éléments géographiques n'est pas prise en compte. En effet, à l'exception de (Chevrier *et al.*, 2006a; Garaix *et al.*, 2006) la plupart des méthodes recensées dans ce tableau sont pensées pour résoudre des instances de tests, admises au sein de la communauté comme celles de Solomon (1987). C'est pourquoi nous proposons dans cette thèse d'utiliser des instances réalistes construites sur un espace non-isomorphe et anisotrope, en fonction de ses caractéristiques territoriales (flux, densités probables des demandes, matrices origines-destinations).

Références	Statique/ Dynamique	Objectifs		temps de parcours	Multi-Contraintes			K	Géo	Typologie
		mono	multi		TW	$ V = 1$	$ V = n$			
(Psaraftis, 1983)	S	1				X		F		a,b
(Desrosiers <i>et al.</i> , 1986)	S	1			X	X		F		a,b
(Bodin et Sexton, 1986)	S		2					F		c. Itère entre des phases de routage et d'organisation
(Dumas <i>et al.</i> , 1989; Desrosiers <i>et al.</i> , 1991; Ioachim <i>et al.</i> , 1995)	S		4,5				X	D		c. Création de sous-groupes. Regroupement par génération de colonnes. Phases d'organisation.
(Borndörfer <i>et al.</i> , 1997)	S		6	X	X		X	D		c,d
(Teodorovic et Radivojevic, 2000)	D		9		X		X	D		e
(Cordeau et Laporte, 2003)	S		3	X (+courses limitées)	X		X	D		c. Recherche tabou avec insertions de sommets.
(Diana et Dessouky, 2004)	S		7	X (+temps d'attente)	X		X	D		c
(Rekiek <i>et al.</i> , 2006)	S		4		X		X	D		f
(Xiang <i>et al.</i> , 2006)	S		8	X (+courses limitées + temps de travail)	X		X	D		c. Insertions, correspondances. Solutions diversifiées.
(Cordeau, 2006; Ropke <i>et al.</i> , 2006)	S		3	X (+courses limitées)	X		X	D		a,d
(Chevrier <i>et al.</i> , 2006a)	S		4	X (+courses limitées)	X		X	D	11	f
(Coslovitch <i>et al.</i> , 2006)	D		10		X		X	D		Insertions sur les services en cours.
(Garaix <i>et al.</i> , 2006)	S		3		X		X	D	12	c
(Jørgensen <i>et al.</i> , 2007)	S		9		X		X	D		c, f

TW. *time windows*, fenêtres de temps.

v. Nombre de véhicules (1 ou n).

K. Capacités des véhicules (fixes (F) ou différenciées (D)).

Géo. Éléments géographiques.

1. Minimiser le temps de la course.

2. Minimiser la somme pondérée des différences entre les temps de parcours désirés et effectifs.

Minimiser la somme des différences entre les temps de desserte désirés et effectifs.

3. Minimiser la longueur totale du parcours.

4. Minimiser le nombre de véhicules.

5. Minimiser le temps de parcours total.

6. Minimiser les coûts opérationnels (chauffeurs et véhicules).

7. Minimiser une combinaison pondérée de distance, de temps d'attente par véhicule et de dépassement sur le temps de parcours global.

8. Minimiser une combinaison linéaire de coûts variables et fixes de véhicules et chauffeurs.

9. Minimiser une combinaison linéaire de temps (parcours, travail, dépassements).

10. Minimiser l'insatisfaction du client.

11. Formes des tournées, polarisation du territoire.

12. Formes des tournées utilisées en post-optimisation

a. Exact.

b. Énumération exhaustive : construction incrémentale de l'ensemble des solutions à partir d'un sous-ensemble.

c. Heuristique.

d. Branch-and-cut.
soumis à conditions.

e. Insertions séquentielles de requêtes.

f. Algorithme génétique (cf. section 5.2)

TAB. 2.2: Méthodes de résolution du DARP

2.2.3 Besoin de nouvelles instances

Pour comparer les méthodes d'optimisation du DARP les unes aux autres et mesurer leur efficacité, leurs auteurs utilisent généralement les instances de Solomon ou d'autres, qui sont des ensembles de points distribués sur des plans isomorphes (distances exprimées à « vol d'oiseau »).

Du point de vue géographique, cette représentation est limitée, pour plusieurs raisons :

- les distances à « vol d'oiseau » ne portent pas les informations telles que la rugosité de la route ou le dénivelé qui auront des impacts très forts sur les temps de parcours entre ces points ;
- l'apparition des demandes n'est corrélée à aucun modèle décrivant les flux de transport ou de fret, alors que les origines et les destinations désignées par les usagers ne sont pas chaotiques.

Agir sur ces limites, et plus particulièrement la seconde, permettrait d'anticiper les demandes et donc les flux, et de fournir une optimisation ad-hoc, appropriée aux instances observées.

Les modèles géographiques décrivant les flux de personnes et/ou de marchandises font l'objet du chapitre 3. À partir de ceux-ci, l'on peut définir de nouvelles méthodes originales d'optimisation de TAD.

2.3 Une approche interdisciplinaire du TAD

Les arguments avancés nous invitent à concevoir une démarche interdisciplinaire, alliant les concepts et les éléments méthodologiques des disciplines informatique, géographique et statistique.

2.3.1 Pluridisciplinarité ou interdisciplinarité : quelle posture ?

La nécessité de sortir du cloisonnement disciplinaire et le besoin de créer des liens entre les disciplines se sont manifestés au cours des années 50 (Nicolescu, 1996).

En effet, dans les recherches académiques menées par plusieurs disciplines travaillant conjointement autour de la même thématique ou du même objet, les approches développées peuvent être radicalement différentes.

Pour caractériser les différences entre ces approches, nous considérons un objet « bi-disciplinaire », donc étudié par deux disciplines. Si chacune d'entre elles travaille isolément sur le même objet, ou échange ses problèmes pour que l'autre les résolve, nous sommes dans un cadre pluridisciplinaire. Alors que dans le cas où les mêmes disciplines travaillent conjointement, chacune apportant ses compétences, pour trouver une solution à un problème situé directement à leur interface, nous sommes dans ce cas-là, dans une démarche interdisciplinaire. Dans le cadre des TAD, une première réflexion sur ces concepts a été produite par Josselin (2004).

Pluridisciplinarité

Basarab Nicolescu (1996) écrit dans son manifeste que « *La pluridisciplinarité concerne l'étude d'un objet d'une seule et même discipline par plusieurs disciplines à la fois* » mais que « *sa finalité reste inscrite dans le cadre de la recherche disciplinaire.* »

Si l'objet d'étude concerne plusieurs disciplines (fig. 2.5), chacune d'entre elles apporte sa contribution à cet objet, mais il n'y a pas de retour méthodologique d'une discipline à l'autre. En effet l'objet d'étude est la finalité des recherches menées et se situe en position de simple interface.

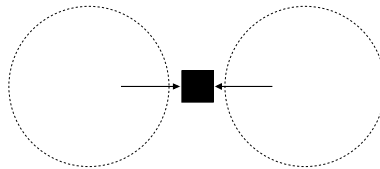


FIG. 2.5: Vue synthétique de la pluridisciplinarité. Le carré est l'objet d'étude des disciplines représentées en cercles pointillés et les flèches sont leurs contributions.

Interdisciplinarité

Dans le même manifeste, Basarab Nicolescu 1996 indique que l'interdisciplinarité « [...] concerne le transfert des méthodes d'une discipline à l'autre ».

Si l'objet d'étude se positionne à la croisée des disciplines et pas simplement en tant que simple interface ou passerelle disciplinaire, la recherche est menée dans la pluralité, qui, outre de contribuer à l'objet d'étude, enrichit chaque discipline d'éléments thématiques et méthodologiques de sa consœur (fig. 2.6).

Les algorithmes dits « *inspirés de la nature* » en sont un éclatant résultat, car pour résoudre des problèmes complexes, les informaticiens se sont inspirés du vivant (biolo-

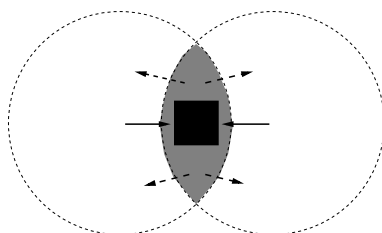


FIG. 2.6: *Vue synthétique de l'interdisciplinarité. Le carré est l'objet d'étude des disciplines représentées en cercles pointillés, les flèches pleines sont leurs contributions et celles pointillées indiquent les retours méthodologiques.*

gie, génétique, neurologie...) pour s'imprégner de leurs thématiques et insuffler de nouvelles méthodes algorithmiques, cette fois stochastiques, capables de prouesses plus difficilement réalisables avec les algorithmes exacts (Holland, 1975; Dorigo, 1992; Ferber, 1995).

C'est justement ce positionnement scientifique que nous adoptons pour le déroulement de cette recherche et pour les développements et expérimentations qui en sont directement issus : nous injectons la notion même de territoire (structure, populations, flux...) dans la méthodologie informatique, et l'optimisation enrichit la compréhension des systèmes territoriaux sur lesquels fonctionnent les TAD.

2.3.2 Une démarche complémentaire

Le réseau thématique TADvance travaille depuis bientôt dix ans sur la thématique des TAD et a lui aussi contribué à son développement. Ce réseau multi-sites (Avignon, Montbéliard, Besançon, Dijon, Strasbourg, Lille) réunit des chercheurs en géographie et en informatique, dont les réalisations portent sur différents aspects :

- le territoire (Banos et Josselin, 2000) ;
- la relation entre le territoire, les temporalités et la forme du TAD (Castex et Josselin, 2007) ;
- la recherche fondamentale sur les concepts de TAD (Josselin et Genre-Grandpierre, 2005) ;
- la prise en compte de la qualité de service dans les TAD (Garaix, 2007) ;
- le dépôt de logiciels spécifiques (ReSAD₂, GaleopSys) et le déploiement de TAD fonctionnels, tels que les TAD Evolis-Gare, TADou, Modulobus-Noël, Mod'Gen² mis en place et déployés en collaboration avec des collectivités territoriales.

²Ces développements ont été réalisés avec la société ProRentSoft : <http://www.prorentsoft.com>

De plus, les travaux menés par TADvance ont abouti à la publication de plusieurs thèses (Banos, 1999; Thevenin, 2002; Bolot, 2006; Castex, 2007; Garaix, 2007). La thèse présentée ici vient compléter les travaux réalisés préalablement.

Contexte de travail

Ces éléments sur l'interdisciplinarité ne sont pas anodins, car ils permettent de prendre la mesure de l'intérêt de travailler avec plusieurs acteurs sur un même sujet. En effet, cette contribution au TAD s'est articulée autour de partenaires scientifiques, certes, mais aussi institutionnels comme la Communauté d'Agglomération du Pays de Montbéliard. À ces premiers partenaires, il faut ajouter tous les différents intervenants ayant pris part aux différentes expérimentations ou services, notamment la société Pro-RentSoft, qui a assuré l'essentiel de la logistique.

Dans ce cadre opérationnel, mon rôle ne s'est pas limité à une simple consultance scientifique sur la méthode informatique, mais a bel et bien consisté à prendre part au service directement en régie, en assurant le bon fonctionnement algorithmique du moteur d'optimisation, avec des données et des clients réels.

Ce contexte de recherche interdisciplinaire et d'action opérationnelle confère à cette thèse un caractère particulier, et la situe dans un domaine à l'interface entre les sciences de la société et les sciences exactes, la géographie et l'informatique : la géomatique (Laurini, 2001).

Conclusion

Cette revue des différentes disciplines se consacrant au transport de personnes et au TAD donne l'image de recherches cloisonnées qui gagnent à s'imprégner des travaux réalisés de part et d'autre. L'un des objectifs de la thèse réside bien là : insuffler des éléments méthodologiques des SHS et des statistiques pour améliorer l'optimisation d'un TAD, telle qu'elle est proposée habituellement en recherche opérationnelle.

Nous avons vu les travaux menés en SHS d'une part et en recherche opérationnelle d'autre part. Ainsi, les premières se consacrent davantage aux impacts sociétaux du TAD, à ses besoins, à ses objectifs, à son organisation spatiale et à son déploiement, tandis que la seconde se penche plus concrètement sur l'optimisation des tournées des véhicules pour assurer un service efficace de transport de personnes, notamment à travers les algorithmes de résolution du DARP.

Les insuffisances relevées pour chacune des disciplines en matière de TAD, soulignent le manque d'échange entre elles en dépit de la pluridisciplinarité pouvant exister. C'est donc dans une démarche interdisciplinaire que nous proposons une méthode visant à concilier les travaux des disciplines informatique et géographique, notamment à travers l'utilisation de la convergence issue du caractère polarisé du territoire.