

# Thèse

*Pour l'Obtention du Diplôme de*

*Doctorat LMD*

PRÉSENTÉ PAR

**BENDAOUZ ZAKARIA**

*Spécialité : Informatique Répartie et Aide à  
la Décision*

THEME

*Système d'information interactif pour les réseaux de transport urbain*

Soutenue le : / / 2015

Devant le jury composé de :

Président (e) : MF KHELFI

Pr Université d'Oran1 Ahmed Ben Bella

Directeur : K. BOUAMRANE

Pr Université d'Oran1 Ahmed Ben Bella

Examinatrice : D HAMDADOU

MCA Université d'Oran1 Ahmed Ben Bella

Examinatrice : F DEBBAT

MCA Université de Mascara

Examinateur : SM BENSLIMANE

Pr Université de Sidi-Bel-Abbes

Code : .../...

*A la mémoire de mon père*

*Pour le courage de ma mère*

*Pour le soutien de mes proches*

**Résumé** - Le nombre de personnes qui utilisent les transports en commun est de plus en plus important. Les compagnies de transport veulent s'assurer, au mieux, de satisfaire les attentes des voyageurs. Néanmoins, le nombre important de ces entreprises de transport en commun dans une même agglomération pousse parfois les voyageurs à des confusions pour composer leurs itinéraires et obtenir les informations relatives à leur trajet. Nous proposons dans ce travail d'intégrer plusieurs systèmes d'information voyageur de différentes entreprises dans un même système d'information multimodale offrant premièrement, aux entreprises l'autonomie du point de vue partage des données afin de les encourager à adhérer au système. Deuxièmement, une minimisation du nombre de nœuds impliqués dans les traitements des requêtes des voyageurs afin d'alléger les processus de calculs. Afin de mettre en œuvre notre proposition, nous avons opté pour un système multi-agents, associé à la décomposition de Voronoï pour la gestion du réseau.

**Mot clés** : Système d'information multimodale, décomposition de Voronoï, système multi-agent, information voyageur.

---

**Abstract.** The number of individuals using public transportation is increasing more and more. Transport companies want to ensure, at best, the satisfaction of the travellers. Nevertheless, the significant number of these companies sometimes pushes the travellers to confusion to compose their itineraries and obtain the required information. We suggest in this work integrating several traveller information systems into a same global system. This work aims to provide information to the traveller with-out concern for their location and optimize processing by limiting the number of involved nodes. In this optics, we opted for a multi-agents system associated with the Voronoï decomposition of the global network.

**Keywords** :, Multimodal system, Voronoï decomposition, Multi-agents system, traveller information

**الملخص.** عدد الأشخاص الذين يستخدمون وسائل النقل العام أصبح أكثر أهمية. شركات النقل تريد أن تضمن بنسبة كبيرة تلبية رغبات المسافرين. ومع ذلك، فإن عددا كبيرا من شركات النقل العام في نفس المدينة يدفع في بعض الأحيان المسافرين الي ارتباك اخطاء لاختيار احسن طريق والحصول على المعلومات المتعلقة برحلتهم. ولهذا نقترح في هذا العمل دمج عدة أنظمة معلوماتية للمسافرين من شركات مختلفة في نظام معلوماتي مشترك متعدد الوسائط يقدم لأول مرة للشركات الاستقلالية من ناحية تبادل البيانات وهذا لتشجيعهم على الانضمام إلى النظام. ثانيا التقليل من عدد العقد التي تشارك في معالجة طلبات المسافرين لتبسيط العمليات الحسابية العملية. من أجل تنفيذ اقتراحنا، اخترنا نظام متعدد الوكلاء، مرتبط بتحليل الفورونوي لادارة الشبكات

**الكلمات المفتاحية:** نظام معلوماتي متعدد الوسائط , تحليل الفورونوي , نظام متعدد الوكلاء , معلومات الركاب

## Remerciements

La reconnaissance est la mémoire du cœur dit-on ! Alors j'ouvre mon cœur pour écrire tout ce que je ne saurai jamais déballer. J'exprime d'abord ma plus profonde reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail de thèse.

Je tiens à remercier en tout premier lieu mon directeur de thèse le professeur Bouamrane Karim, professeur au département d'informatique d'Oran, pour la confiance qu'il a placée en moi, pour ses conseils, ses encouragements et son encadrement tout au long de cette thèse. Ces années de collaborations ne se seraient abouties sans sa présence, qu'il retrouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

J'adresse mes sincères remerciements à l'ensemble des membres de mon jury : Mr Khelfi Fayçal, Mr Benslimane Sidi Mohamed, Mme Hamdadou Djamila et Mme Debbat Fatima pour m'avoir fait l'honneur de juger et d'examiner ce travail.

J'ai effectué cette thèse au sein du laboratoire d'informatique d'Oran, j'aimerais donc remercier Mr Beldjilali Bouziane, directeur du laboratoire, de m'avoir accueilli au sein de son organisme. Ma reconnaissance va aussi pour mes amis de l'équipe de recherche SADP pour leurs conseils et encouragements : Amjed, Seddik, Khadidja et Naima, recevez mes plus sincères remerciements.

Je remercie tous les professeurs qui m'ont appris, donné l'envie d'apprendre et le goût de la recherche.

Je tiens à exprimer mon profond respect et ma sincère reconnaissance à Mr Fallet AEK et à Mr Khemiss Sidahmed qui ont été d'une grande influence sur mon choix de carrière. Ma réussite est aussi la leur.

Je remercie tous mes amis qui, avec leur question récurrente « *quand est-ce que tu soutiens ta thèse ?* » bien qu'angoissante m'ont toujours poussé à me surpasser afin de pouvoir leur fournir une réponse formelle. Merci à Brahim, Nourredine, Abdou, Kader, Amine, les deux Omar, Habib, Youcef, Amina et Rym.

Il me serait impossible d'oublier mes amis de la formation IRAD qui ont toujours cru en moi : merci à Fatima, Aziz K, Aziz B, Younes, Sidali et Habib B.

Mes remerciements vont particulièrement à mes grands parents pour leur amour et leur tendresse. Je ne saurai passer sous silence l'apport inestimable des autres membres de ma famille (mon frère, tantes, oncles, cousines, cousins, nièces et neveux) qui m'ont soutenu, de près ou de loin durant mes études doctorales.

Les mots me manquent pour remercier, à sa juste valeur, ma mère, pour son soutien moral et psychologique indispensable pour maintenir ce projet à flot au travers des aléas de la vie et pour avoir cru en mes capacités intellectuelles et à mon sens de l'organisation pour le réaliser.

Je clos ce préambule en dédiant ce travail à toutes les personnes que je ne peux remercier mais qui se reconnaîtront.

## Tables des matières

Index des figures .....	11
Index des tableaux .....	13
Introduction générale .....	14
Chapitre1 : Introduction aux systèmes d'information multimodale .....	17
1.1 Introduction .....	18
1.2 Multimodalité .....	18
1.3 Le transport coté entreprise .....	19
1.3.1 Phase 1 : Planification des courses .....	19
1.3.2 Phase 2 : Régulation du réseau .....	20
1.4 Le transport coté client.....	21
1.5 Définition du contexte législatif .....	22
1.6 Système d'information multimodale .....	24
1.7 Les Systèmes d'information multimodale existants .....	26
1.7.1 « Delfi » : le modèle allemand .....	26
1.7.2 « Transport Direct » : Le modèle Anglais.....	28
1.7.3 Gofas : Le Modèle Suisse .....	30
1.7.4 9292:l'exemple des Pays-Bas.....	31
1.8 L'intégration des données. ....	31
1.8.1 Les standards d'intégration .....	32
1.8.2 Stratégie de l'intégration de l'information multimodale .....	33
1.8.3 Standardisation de l'information voyageur .....	33
1.9 Problématique.....	34
1.10 Conclusion .....	35
Chapitre 2 : Modélisation des réseaux, systèmes multi-agents et clustering .....	37
2.1 Introduction .....	38
2.2 Modélisation des réseaux .....	38
2.2.1 Théories des graphes(Berge, 1959) .....	38
2.2.2 Algorithme de Dijkstra (Dijkstra, 1959).....	39
2.2.3 Les modélisations dépendantes du temps .....	40
2.2.4 Les modélisations indépendantes du temps (Pajor, 2009) .....	40
2.2.5 Modélisation des réseaux de transports en commun .....	41

2.2.6	Modèles réalistes .....	43
2.2.7	Comparaison entre modèles simples et modèles réalistes .....	45
2.3	L'intelligence artificielle dans les transports.....	49
2.3.1	Les systèmes multi-agents.....	49
2.3.2	Les Agents.....	50
A.	Classification par rapport à leur réactivité ou granularité .....	51
B.	Classification selon la mobilité .....	51
C.	Classification selon le rôle .....	52
2.3.3	Interactions des agents .....	52
2.3.4	Communication entre Agents .....	55
2.3.5	Organisation multi-agents. ....	56
2.4	La segmentation des réseaux et des données.....	59
2.4.1	Approches de clustering.....	59
2.4.2	Notions de similarité.....	60
2.4.3	Algorithme des K-moyennes.....	62
2.4.4	Méthodes hiérarchiques .....	65
2.4.5	Les diagrammes de Voronoï .....	67
2.5	Conclusion.....	69
Chapitre 3 : Vers un système d'information multimodale.....		70
3.1	Introduction .....	71
3.2	Complexité du problème .....	71
3.3	Limites des algorithmes de la théorie des graphes .....	73
3.4	Vers une architecture basée sur les diagrammes de Voronoï.....	75
3.5	Architecture du système proposé.....	77
3.5.1	Agent Interface .....	81
3.5.2	Agent Annuaire .....	82
3.5.3	Agent Identificateur .....	83
3.5.4	Agent Collecteur.....	84
3.5.5	Agent Fusion .....	85
3.6	Les bases de données .....	86
3.6.1	La base de données compagnies.....	86
3.6.2	La base de données voyageurs .....	86
3.7	Identification du domaine de recherche .....	87

3.8	Application de l'algorithme de Voronoï .....	89
3.9	Traitements des requêtes touristiques .....	91
3.10	Conclusion .....	92
Chapitre 4 : Mise en œuvre du système d'information multimodale .....		94
4.1	Introduction .....	95
4.2	Outils informatique utilisé.....	95
4.2.1	Le langage java.....	95
4.2.2	Plate-forme multi-agent : JADE.....	95
4.3	Résultats obtenus .....	96
4.4	Discussions .....	100
4.5	Scenari de simulations .....	102
4.6	Conclusion.....	104
Conclusion générale.....		105
Références bibliographiques et webographiques.....		108
Annexe 1 .....		116
Annexe 2 .....		120



## Index des Figures

Figure 1.1 Processus classique de Planification .....	20
Figure 1.2 Processus classique de régulation .....	21
Figure 1.3 Les liens entre SI, SAIE et SAD .....	25
Figure 1.4 Architecture du modèle allemand DELFI [Danflous, 00] .....	27
Figure 1.5 Architecture de Transport Direct .....	29
Figure 1.6 Architecture globale de Gofas.....	30
Figure 2.1 Les modèles expanded-time .....	42
Figure 2.2 Représentation de la fonction arbitraire dans les modèles dépendants du temps ...	43
Figure 2.3 Les modèles dépendants du temps .....	45
Figure 2.4 Les différentes formes d'interactions entre les agents .....	53
Figure 2.5 Organisation hiérarchique (multi-agents) .....	57
Figure 2.6 Organisation Holarchique (multi-agents) .....	57
Figure 2.7 Organisation en Coalition (multi-agents).....	58
Figure 2.8 Organisation en équipe (multi-agents) .....	58
Figure 2.9 Organisation marché (multi-agents) .....	59
Figure 2.10 Exemple d'un processus de clustering en utilisant la méthode des K-moyenne. Le premier plan indique la première et la deuxième itération, le deuxième indique la troisième itération .....	64
Figure 2.11 Présentation de la méthode hiérarchiques.....	66
Figure 2.12 Le diagramme de Voronoi sur huit sites générés aléatoirement .....	67
Figure 2.13 Différence entre Diagramme de Voronoi et Triangulation de Delaunay. Les traits en pointillés montrent le diagramme de Voronoi alors que les traits pleins montrent la Triangulation de Delaunay .....	68
Figure 3.1 Organigramme décrivant le fonctionnement de l'algorithme de Dijkstra .....	73
Figure 3.2 Temps de calcul de l'algorithme de Dijkstra selon le nombre de sommets d'un graphe .....	74
Figure 3.3 Présentation d'un réseau de trois compagnies de transport .....	76
Figure 3.4 Cas 1 : Décomposition du réseau en régions selon une première initialisation .....	77
Figure 3.5 Cas 2 : Décomposition du réseau en régions selon une deuxième initialisation ...	77
Figure 3.6 Architecture de notre système .....	79
Figure 3.7 Comportement global des agents du système lors des requête d'itinéraire .....	80
Figure 3.8 Diagramme d'activité de l'agent Interface .....	81
Figure 3.9 Diagramme d'activité de l'agent annuaire .....	82

Figure 3.10 Diagramme d'activité de l'agent identificateur .....	83
Figure 3.11 Diagramme d'activité de l'agent collecteur .....	84
Figure 3.12 Diagramme d'activité de l'agent fusion .....	85
Figure 3.13 Organisation de notre système .....	87
Figure 3.14 Réseau de trois compagnies de transport .....	87
Figure 3.15 Domaine de recherche - La zone de départ et la zone d'arrivé sont identiques et les stations de départ et d'arrivée appartiennent à la même compagnie .....	88
Figure 3.16 Domaine de recherche - La zone de départ et la zone d'arrivé sont différentes et les stations de départ et d'arrivée appartiennent à la même compagnie .....	88
Figure 3.17 Domaine de recherche - La zone de départ et la zone d'arrivée sont identiques mais la compagnie de départ et la compagnie d'arrivée sont différentes.....	89
Figure 3.18 Domaine de recherche -La zone de départ et la zone d'arrivée sont différentes et la compagnie de départ et la compagnie d'arrivée sont différentes .....	89
Figure 3.19 Affectation d'un nœud selon les diagrammes de Voronoi.....	90
Figure 3.20 Comportement global des agents du système lors des requêtes touristiques .....	92
Figure 4.1 Organigramme fonctionnel de notre système.....	97
Figure 4.2 Comparaison des temps de réponses selon l'initialisation de Voronoi. ....	100
Figure 4.3 Aperçue du résultat d'une requête d'itinéraire .....	100

## Index des Tableaux

Tableau 1.1 Affectations des véhicules selon les services pour le cas des autobus .....	23
Tableau 2.1 Comparaison entre les différents modèles de représentations les réseaux de transport .....	48
Tableau 2.2 Caractéristiques de l'algorithme des K-moyennes .....	63
Tableau 2.3 Caractéristiques de la méthode hiérarchique .....	66
Tableau 3.1 Analogie entre le problème du voyageur de commerce et la problématique de la mise en place d'un système d'aide aux déplacements.....	72
Tableau 3.2 Complexité des algorithmes de recherche d'itinéraires.....	74
Tableau 3.3 Analogie des diagrammes de Voronoi avec notre problématique .....	76
Tableau 3.4 Définition de l'agent interface .....	81
Tableau 3.5 Définition de l'agent annuaire .....	83
Tableau 3.6 Définition de l'agent identificateur .....	84
Tableau 3.7 Définition de l'agent collecteur.....	85
Tableau 3.8 Définition de l'agent fusion .....	86
Tableau 4.1 Nombre de nœuds impliqués dans le traitement d'une requête d'itinéraire d'une distance 800 mètres .....	99
Tableau 4.1 Nombre de nœuds impliqués dans le traitement d'une requête d'itinéraire d'une distance 5100 mètres .....	99
Tableau 4.1 Nombre de nœuds impliqués dans le traitement d'une requête d'itinéraire d'une distance 12000 mètres .....	99

## **Introduction générale**

Le nombre important que connaît la population mondiale a une influence directe sur divers secteurs. Il est vrai que la croissance de l'économie d'un pays passe inévitablement par un nombre de population important et productif néanmoins l'Algérie, étant un pays jeune et ayant acquis son indépendance il y'a un demi-siècle doit faire face aux différents aléas que connaissent les pays en voie de développement. Ce statut implique forcément une croissance dans l'usage des transports en commun surtout dans les villes stratégiques à forte densité de population.

Le secteur des transports connaît une expansion fulgurante. Les compagnies de transport ne cessent d'innover afin de répondre aux besoins des voyageurs. Chaque entreprise a ses stations, ses modes de transport, ses algorithmes de recherches d'itinéraire et interagit avec le voyageur par son système d'information qui est souvent déployée à travers internet. Par ailleurs, l'organisation des réseaux de transports en commun sur une échelle régionale ou nationale permet aux services publics une meilleure gestion et une possibilité d'ouverture vers de nouveaux secteurs, à savoir le tourisme.

Le système d'information voyageur d'une compagnie (SIV) permet aux voyageurs de calculer leurs itinéraires et d'acquérir les informations dont ils ont besoin. Il peut exploiter deux types de réseaux: unimodal ou multimodal. Si dans le premier type, un seul mode de transport est pris en compte, le deuxième type comprend au moins deux modes. Les SIV robustes considèrent même la marche comme mode de transport au sein de leur réseau. Avec la concurrence et la diversité que le secteur des transports connaît, les voyageurs doivent avoir une solide connaissance des itinéraires, des sites web et des stations d'échange offertes par chaque société afin d'acquérir l'information multimodale recherchée. En effet, dans une vaste zone géographique, il est très probable que les voyageurs aient besoin de solliciter plusieurs compagnies de transport en commun afin d'obtenir l'information qu'ils recherchent.

L'information multimodale est aujourd'hui d'un enjeu majeur pour le voyageur, ce dernier souhaite être informé de toute éventuelle perturbation au moment de la planification de son voyage. Il souhaite connaître le coût, les horaires de passage et calculer son itinéraire sans avoir à visiter les différents portails web. Par ailleurs, les avancées qu'ont connues les technologies web ont conduit à un développement considérable des systèmes d'information d'aides aux déplacements. Les Smartphones et l'accès à internet qui est pratiquement possible à tout moment ont encouragé le développement et le lancement de plusieurs applications et sites web par les compagnies de transports en commun afin de faciliter la tâche des voyageurs.

Afin d'éviter aux voyageurs ces recherches manuelles et d'assurer leur confort, nous proposons dans ce travail d'intégrer plusieurs SIV dans un même système d'information multimodale (SIM). Il est important de noter que de manière générale, l'adhésion d'une entreprise à un système d'information multimodale implique le partage de toutes ses informations, données et algorithmes. Cependant, ces données peuvent être cruciales pour

## Introduction générale

la concurrence et la domination du marché et peuvent pousser les compagnies à des réticences quant à l'adhésion au système. Afin de remédier à cet obstacle et encourager les compagnies de transport à adhérer au système d'information multimodale, nous proposons une architecture où chaque entreprise conserve son autonomie (du point de vue gestion de ces données). Lorsque le système proposé reçoit une requête de la part du voyageur, il la décompose en plusieurs sous-requêtes et questionne les compagnies de transport identifiées pour le parcours souhaité afin de fournir les sous-réponses. La fusion de ces sous-réponses forme l'information finale proposée au voyageur.

La réalisation d'un tel système consiste généralement à créer une seule base de données dans laquelle toutes les stations et tous les liens sont enregistrés. Cette technique est très pratique dans le cas d'un petit réseau d'une seule compagnie de transport ou d'un seul mode de transport mais trouve rapidement ses limites lors des mises à jour et devient très couteuse en temps de calcul. Pour mettre en œuvre notre solution, au niveau technique, nous avons minimisé le nombre de nœuds impliqués dans les traitements des requêtes des voyageurs. Les recherches bibliographiques entamés dans le domaine (Zidi, 2005; Kamoun, 2006; Zgaya, 2007), nous nous ont pas permis d'identifier un travail qui propose un système d'information multimodale qui intègre les systèmes d'information voyageurs de différentes compagnies de transport et qui permet de minimiser la taille du domaine de recherche de l'information dans les graphes lors des traitements des requêtes des voyageurs. Nous nous sommes donc intéressés à la taille des graphes lors de l'application des algorithmes de recherche d'itinéraire. En effet, au lieu d'appliquer ces algorithmes de recherches d'itinéraires sur la totalité des graphes des différentes compagnies de transport, nous proposons une décomposition « fictive » des réseaux des différentes compagnies de transport selon la densité du trafic en termes de nombre de voyageurs.

Ce projet vise à satisfaire aussi bien les attentes des voyageurs en leur fournissant les informations dont ils ont besoin avant et pendant leurs déplacements en leurs proposant divers services, notamment les informations touristiques concernant des sites ou monuments qu'ils ont remarqué pendant leur voyage, mais aussi les compagnies de transport en leur garantissant la confidentialité et la sécurité de leurs données pertinentes. L'information multimodale est le centre de notre travail, bien qu'il s'agisse d'un thème actuel de recherche. L'adaptation de la problématique au contexte algérien nous a posé beaucoup de problème. Dans ce sens, une grande partie de notre travail a été basé sur la conception et la programmation de notre système.

La présente thèse est organisée en quatre chapitres avec conclusion, perspectives et annexes :

- 1- Dans le premier, chapitre nous présentons des informations générales relatives aux déplacements multimodaux, nous exposons un nombre des systèmes existants, leur fonctionnement, leurs avantages et leurs limites.
- 2- Le chapitre 2 est consacré pour l'état de l'art général sur les systèmes multi-agents et les méthodes de décomposition de réseau et leurs adaptations aux réseaux de transport en commun.

## Introduction générale

- 3- Dans le chapitre 3, nous avons présenté notre approche d'optimisation des traitements des requêtes des voyageurs dans laquelle nous avons mis en place un système multi-agents avec une décomposition fictive du réseau basée sur les diagrammes de Voronoi.
- 4- Dans le chapitre 4, nous présentons les résultats que nous avons obtenus ainsi que quelques scénarios d'utilisation de notre système

# Introduction aux systèmes d'information multimodale

### 1.1 Introduction

Les pays en voie de développement connaissent une expansion dans plusieurs secteurs. L'Algérie, qui fait partie de ces nations, se frotte aujourd'hui aux différents défis liés à la logistique, management et transport. En effet, la migration collective vers les grandes villes pour les raisons économiques et sociales qu'a connu le pays ont fait que la concurrence devient très ardue, les entreprises ne cessent de se multiplier et d'innover afin de venir aux besoins des voyageurs.

Le secteur des transports publics fait aujourd'hui partie des domaines les plus concernés par cette poussée. La gestion d'un réseau de transport peut être perçue selon deux angles (acteurs) différents. Le premier point concerne les compagnies de transport même, il consiste à trouver la meilleure modélisation du réseau et les meilleures combines pour mettre en marche un système d'aide décisionnel (SAD) adéquat aux objectifs de l'entreprise. Le deuxième point concerne les voyageurs, il consiste à satisfaire leurs exigences et leur offrir l'information requise dans les meilleurs délais. Afin de répondre à leurs besoins, les compagnies de transports déploient, souvent, sur internet un système d'information voyageur (SIV) afin de permettre une meilleure interaction avec les passagers.

Dans ce chapitre, nous donnons un aperçu des notions de bases relatives au transport en commun, et nous expliquons les différentes tâches et situations qu'une entreprise de transport en commun doit prendre en charge.

### 1.2 Multimodalité

Avant d'entamer le reste de ce chapitre, il est nécessaire de définir certaines notions de base concernant les modes de transports :

- L'intermodalité : se définit par l'usage successif des modes de transports pour rallier un point de départ à un point d'arrivée. Il s'agit de faire appel à plusieurs modes de transport en commun (Ex : Autobus, Tramway puis Avion), elle peut aussi se présenter par la succession entre des modes de transports particuliers puis des modes de transports en commun (Ex : Voiture personnelle puis Train). L'intermodalité est caractérisée par la notion de chainage qui doit être respectée.
- La multimodalité : est appelée aussi intermodalité alternative, c'est l'usage de plusieurs modes de transports pour un même trajet. Elle est caractérisée par la notion de choix. Le voyageur peut diriger son trajet selon les jours et les raisons du déplacement.
- L'information multimodale : elle a pour but d'informer le voyageur sur les modes de transports qu'il compte prendre ou sur les éventuelles perturbations pouvant affecter un tronçon donné. Cette information peut être, donc, de deux types : soit statique s'il s'agit d'information constante (Ex : lieu touristique), soit dynamique si elle dépend de l'état du réseau (Ex : les horaires de passage en cas de perturbations). L'information multimodale traite : les calculs d'itinéraires, les horaires de passages, les conditions de circulation, les informations sur les tarifs et les informations sur les temps d'attente.

## Chapitre 1 : Introduction aux systèmes d'information multimodale

- Les canaux de diffusion de l'information multimodale : l'information multimodale peut être diffusée à travers plusieurs supports de communication. Avec les développements que connaissent les technologies web, le premier canal est incontestablement internet. Chaque entreprise propose son propre calculateur d'itinéraire via une page web. Les cellulaires permettent aussi une interaction en temps réel entre les compagnies de transports et les clients, les informations qui y sont diffusées concernent le plus souvent les perturbations du réseau. Enfin, les panneaux permettent d'afficher les horaires de passage des modes de transport.

Nous pouvons, donc, classer les compagnies de transports en commun selon leur type de réseau :

- Des compagnies multimodales : ce sont des entreprises qui incluent plusieurs modes de transports au sein de leur réseau.
- Des compagnies monomodales : contrairement aux multimodales elles ne gèrent qu'un seul mode de transport au sein de leur réseau. Il est toutefois important de distinguer les modes de transports des lignes. Un mode de transport peut opérer sur plusieurs lignes reliant deux points (départs et arrivées) différents.

### 1.3 Le transport coté entreprise

Dans le milieu des transports en commun, les compagnies de transports cherchent à satisfaire au mieux les attentes et les préférences des voyageurs tout en minimisant les coûts des investissements afin d'optimiser les revenus. Pour cela, les compagnies de transport traitent ce problème en passant par deux phases :

#### 1.3.1 Phase 1 : Planification des courses

Cette tâche consiste à effectuer une étude du marché afin de mettre en place les courses et les circuits selon la demande des voyageurs. Il est vrai que l'augmentation du nombre des moyens de transports offre une meilleure qualité de services aux clients mais elle augmente considérablement le coût des dépenses dues à l'entretien et au carburant. En contrepartie, l'utilisation d'un nombre de moyens de transports limités remet en cause la qualité de services offerte aux voyageurs car elle cause un temps d'attente assez conséquent. Il faut donc trouver le bon compromis entre le nombre de véhicule et la demande des voyageurs afin de satisfaire les clients d'un côté et d'optimiser les gains d'un autre. Cette planification est effectuée en général une fois par an et ne se base que sur les prévisions de la demande et sur la durée des trajets entre les arrêts du réseau. Elle a pour but d'établir une offre prévisionnelle de transport qui s'ajusterait à la demande. Cela permet de tracer une approximation sur les horaires de passage de chaque véhicule dans les stations composant le réseau. Cette approximation se présente sous forme de tableaux appelés « tableaux de marche » (Laïchour, 2002).

Au-delà de la planification des courses, cette étape permet d'affecter le personnel aux services adéquats et établir les fiches d'horaires des conducteurs en les affectant aux véhicules dont ils seraient responsables. Les problèmes de planifications ont fait l'objet de plusieurs travaux, ils sont référés au problèmes des taches et ordonnancement.

Selon (Zgaya, 2007), ce problème est généralement traité par les compagnies de transport par bus. L'outil le plus fréquemment utilisé est HASTUS<sup>1</sup> développé dans les années 80 (Rousseau and Blais, 1985). Le processus classique de la régulation est présenté dans la figure (1.1) (Huisman et al., 2002).

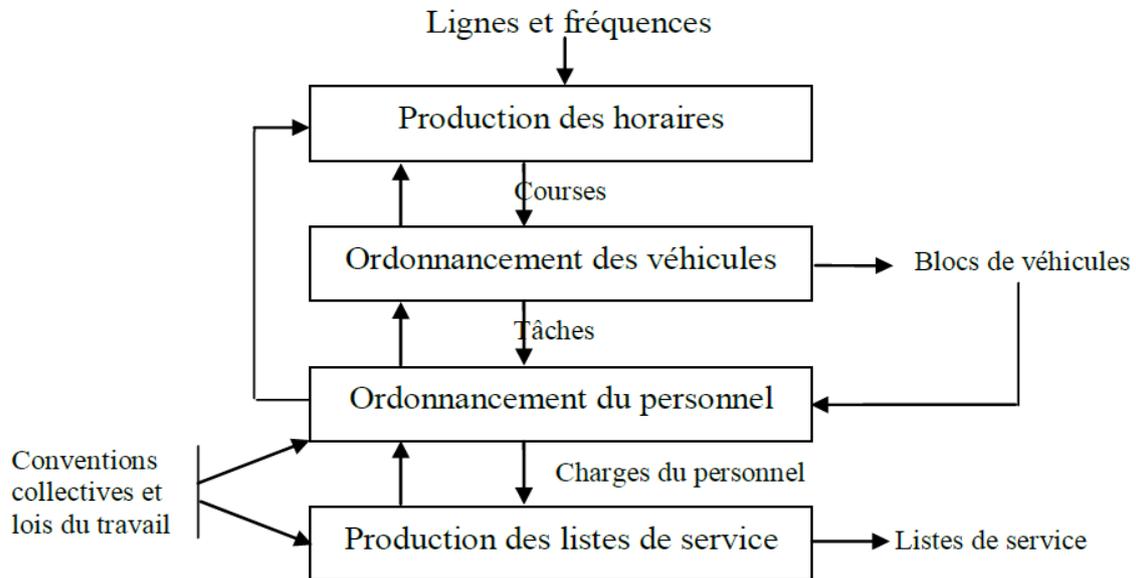


Figure 1.1 Processus classique de Planification

### 1.3.2 Phase 2 : Régulation du réseau

La planification des tâches permet d'obtenir une approximation sur les horaires de passage des véhicules aux stations. Les tableaux de marches représentent une estimation faite au préalable. La planification est, en fait, une étude théorique de la demande et des horaires de passages des véhicules. Elle ne coïncide pas toujours avec la réalité, en effet il est très fréquent qu'il y ait des perturbations dans les routes qui peuvent être causées par différentes raisons :

- Des raisons techniques relatives aux véhicules.
- Des raisons naturelles (pluies, intempéries..).
- Saturation du réseau.
- Des raisons externes concernant les travaux d'ordre public.

Dans ce sens, il est impératif de prévoir une gestion du réseau et du trafic en temps réel. Cette étape connue sous le nom de « processus de régulation » a pour but de minimiser les écarts entre les temps prévus lors de la planification et la réalité. Ces démarches de régulation permettent d'exploiter au mieux le réseau lors de son passage à un état dégradé. Le régulateur a pour missions d'analyser l'état du réseau, évaluer au mieux les solutions qui satisfassent les contraintes liées à l'état du réseau et tirer la meilleure option possible.

<sup>1</sup><http://www.giro.ca/en/>

Il faut donc prévoir des solutions de secours pour répondre aux attentes des voyageurs dans le meilleur des délais. Ces manœuvres de régulation se font en temps réel, elles permettent de fluidifier le trafic de telle manière à respecter au mieux les tableaux de marche théoriques émis lors de l'étape de planification. Le processus classique de la régulation est présenté dans la figure (1.2) (Zgaya, 2007) :

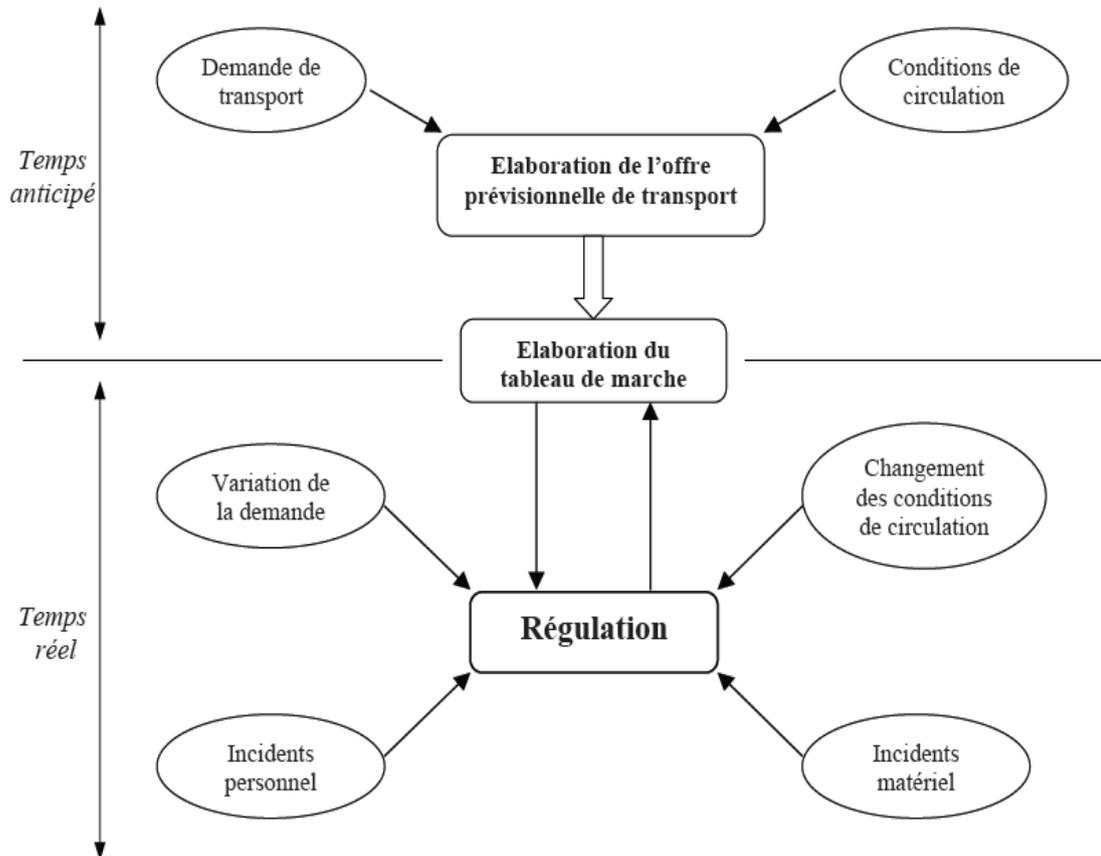


Figure 1.2 Processus classique de régulation

#### 1.4 Le transport coté client

Les recherches réalisées dans ce sens traitent la qualité de service offerte aux voyageurs. Elles ont pour objet de faciliter l'acquisition de l'information au voyageur en fournissant un système d'information capable d'extraire, de composer et de calculer les itinéraires requis selon les préférences du client. La mise en place de ces systèmes d'information est le plus souvent lancés par les compagnies de transport afin d'offrir le meilleur des services et concurrencer les compagnies qui opèrent dans le même secteur. Cette opération, bien que couteuse pour les entreprises, offre un meilleur confort et une meilleure qualité de service aux voyageurs. Plusieurs travaux ont été effectués dans ce sens.

A titre d'exemple, (Petit-Roze et al., 2004) a présenté un système multi-agent pour l'aide aux déplacements en se basant sur la notion du contexte. Ce dernier est de trois types :

- Identitaire : correspond aux caractéristiques relatives à l'identité du voyageur, ses préférences et ses objectifs
- Spatial : consiste à localiser le voyageur lors de son interaction avec le système d'information.
- Temporel : consiste à prendre en considération le temps à laquelle la requête a été effectuée par le voyageur et de déterminer son délai de réponse acceptable afin de gérer les priorités lors des traitements.

La prise en compte de ces trois types de contexte offre une réponse plus adéquate aux attentes des voyageurs car le traitement prend en considération aussi bien les profils des voyageurs que le contexte dans lequel la requête a été émise.

(Zidi et Hammadi, 2005) ont présenté un système d'aide au déplacement en mode normal et en mode dégradé. Ce système a pour objectif de minimiser le temps d'attente des voyageurs lors des perturbations et de leur assurer dans la mesure du possible la continuité durant leurs déplacements. (Zgaya, 2007) a proposé un système d'information permettant la gestion des données à flux important, la requête est alors décomposée en plusieurs tâches.

De tels projets peuvent aussi être initiés par les autorités gouvernementales afin de réunir les réseaux de toutes les entreprises de transport dans un même système global, cela permet une meilleure gestion des transports publics car le réseau devient à grande échelle. De plus, cet englobement de différents systèmes d'information dans un même et unique système facilite l'accès à l'information et encourage fortement le tourisme qui représente aujourd'hui un enjeu majeur pour l'économie.

### 1.5 Définition du contexte législatif

Administrativement, l'Algérie est composée de 48 wilayas. Chaque wilaya dispose d'une direction des transports attachée au ministère des transports et chargé de la planification des lignes, la gestion du trafic et la mise en place des plans des routes dans les journées nécessitant un degré sécuritaire élevé. Il existe comme principaux modes de transport voyageur les autobus, les tramways et le métro au niveau de la capitale « Alger ».

L'Algérie, étant un pays émergent, connaît actuellement une grande confusion dans le secteur des transports. La concurrence entre entreprise de transports privés et publics est très ardue. Nous retrouvons d'un côté des gros projets financés par l'état et d'un autre l'exploitation des services réguliers de transports publics par des personnes physiques ou morales. Néanmoins, Le secteur des transports via autobus reste le plus difficile à gérer et à organiser à cause du nombre important des véhicules et des personnes (physiques ou morales) exploitant les lignes mises en place. En effet, L'accès à l'exploitation des services réguliers de transports public routiers est ouvert à toute personne morale ou physique de droit algérien remplissant certaines conditions<sup>2</sup>. Le tableau (1.1) présente les types de lignes des autobus et le nombre des véhicules nécessaires pour leur exploitation.

---

<sup>2</sup> <http://www.ministere-transport.gov.dz>

Nous pouvons remarquer que dans la majorité des cas un seul véhicule est requis pour l'obtention de l'autorisation d'exploitation des services réguliers. De plus, la mise en place des nouvelles réformes<sup>3</sup> pour promouvoir l'économie et aider les jeunes a permis de passer l'obstacle financier et encourage plusieurs particuliers à s'orienter vers le domaine des transports par l'obtention d'un seul autobus.

<i>Type de ligne</i>	<i>Type et nombre de véhicules</i>
Grandes lignes inter wilaya (300 km et plus)	Deux (02) autocars ou plus
Moyennes lignes inter wilaya (80 à 299 km)	Un (01) autocar ou plus. Un minicar ou plus dans le cas où la ligne relie deux wilayas limitrophes
Lignes inter wilaya (inférieures à 80 Km)	Un (01) autocar ou plus. Un (01) minicar ou plus.
Lignes locales non urbaines	Un (01) autocar ou plus. Un (01) minicar ou plus. Autres véhicules de plus de neuf (09) places assises.
Lignes urbaines	Un (01) autobus articulé ou plus. Un (01) autobus ou plus. Un (01) minibus ou plus

**Tableau 1.1** Affectations des véhicules selon les services pour le cas des autobus<sup>4</sup>

En ce qui concerne les tramways, les projets ont été lancés par le ministère des transports dans le but d'aider la population lors de ses déplacements. Les réseaux et les infrastructures (parcs de dépôts, rames, lignes...) appartiennent aux autorités mais l'exploitation est affectée à des sociétés privées telle que SETRAM<sup>5</sup>. Le rôle de l'exploitation dans le domaine des transports se présente sous la forme de : la gestion, la conduite, l'organisation, la maintenance, l'encadrement et l'organisation du trafic, la maîtrise des technologies des systèmes de conduite électronique et la diffusion de l'information pour les voyageurs.

L'activité ferroviaire est très sollicitée par les voyageurs. Son exploitation est organisée par une seule société qui gère le réseau, les infrastructures et toute la logistique. Elle est donc propriétaire de l'information. Elle monopolise le marché et n'a aucun concurrent dans le domaine. Elle a lancé le projet du réseau ferroviaire et possède désormais 234 trains qui opèrent par jour sur les grandes lignes, les lignes régionales et les banlieues. Cette société dénommée SNTF<sup>6</sup> est aujourd'hui l'un des plus grands transporteurs de voyageurs en Algérie. Son information multimodale concerne essentiellement les horaires de passages dans les gares des différentes wilayas.

Dans le secteur public, les réseaux et les infrastructures sont les propriétés de composantes représentatives de l'état. Ces composantes dites « Autorités Organisatrices (AO) » initient le lancement des projets tels que l'installation d'un réseau de tramway ou de métro. Ces AO changent de statut d'un pays à un autre. En France, une AO peut être une région, un

<sup>3</sup>Création des Agences nationale de soutien des jeunes.

<sup>4</sup><http://www.ministere-transport.gov.dz>

<sup>5</sup> Société d'exploitation des tramways d'Algérie – (49% la RATP- El Djazaïr, 15% l'EMA, 36% ETUSA).

<sup>6</sup> Société national des transports ferroviaires.

département ou une commune. Si une commune décide de mettre en place un réseau de tramway, elle émet un appel d'offre et finance le projet. En Algérie, les gros projets sont financés par l'état. On peut considérer donc que l'état ou le gouvernement est AO.

Dans le cas où l'AO gère son propre réseau de transport, l'information multimodale est considérée comme une propriété de l'AO. Si, par contre, une société privée est appelée à prendre en charge la gestion et l'exploitation du réseau, elle est propriétaire de l'information du service qu'elle gère. Ces informations sont protégées par des droits d'auteurs, des conventions et des contrats entre l'AO et l'exploitant qui sont mis en place afin de se protéger mutuellement. En gestion des connaissances, cette étape d'exporter des tâches vers une autre organisation est connue sous le processus de l' « externalisation ».

En résumé, les AO initient et contrôlent les projets de transport. Ils sont propriétaires des réseaux de transport mais ce sont les exploitants privés qui ont, en général, le monopole de l'information voyageur. De ce fait, créer une information multimodale et multi-opérateurs revient inévitablement à créer et intégrer une information multi-exploitants.

Avec toutes ces différentes stratégies de gestion des réseaux en Algérie, l'accès à l'information multimodale est très difficile. L'acquisition de l'information multimodale n'est pas une tâche facile dans la mesure où la concurrence est inter-mode et intra-mode dans le secteur des transports. L'information fait office d'atout majeur pour devancer la concurrence, les entreprises essaient donc de la préserver de tout partage.

### 1.6 Système d'information multimodale

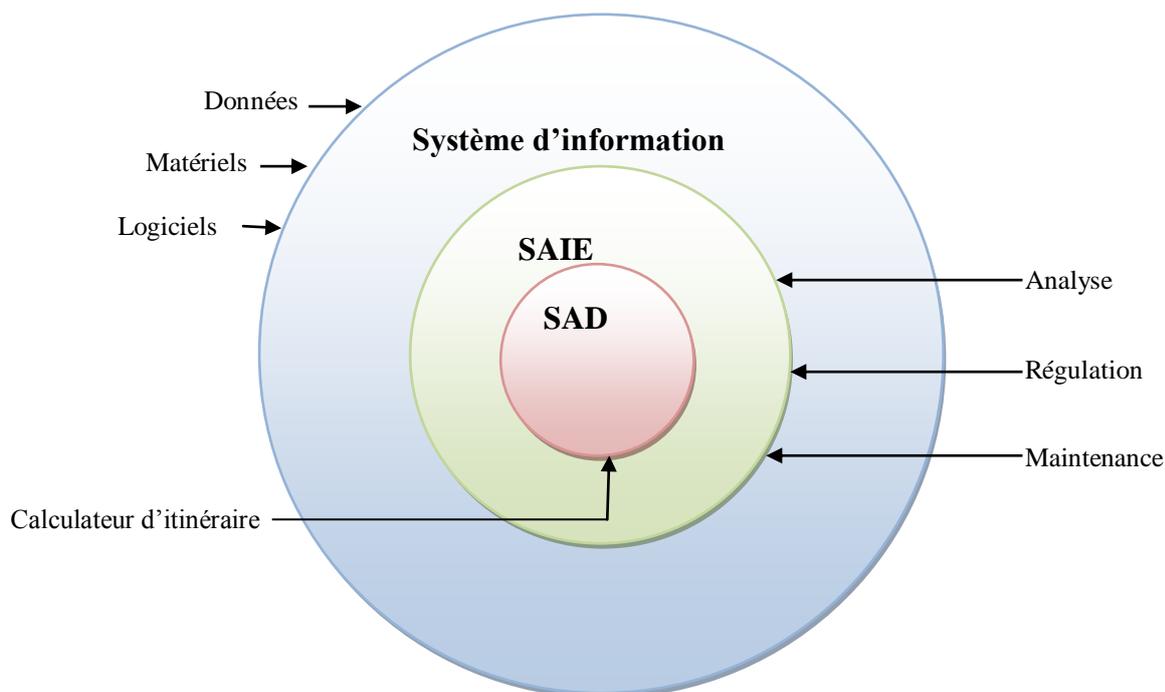
Un système d'information (SI) est un ensemble organisé de ressources (matériels, logiciels, personnel, données et procédures) qui permet de collecter, regrouper, classifier, traiter et diffuser de l'information sur un environnement donné (De Courcy, 1992). Les SIs s'articulent donc autour des cinq points suivants :

- Le recueil et la collection de l'information.
- La classification et le regroupement des informations selon les besoins.
- Le traitement des informations.
- La détermination de l'usage de l'information.
- Le Partage de l'information et sa présentation selon le support utilisateur.

Les Systèmes d'Information d'Aide à l'Exploitation (*SIAE*) sont des systèmes d'information dédiés aux entreprises de transports dans le but de leur faciliter certaines tâches. Un SIAE gère les fonctionnalités suivantes :

- L'aide à l'analyse de l'offre et du service rendu.
- L'aide à la régulation du réseau en temps réel en cas de perturbations.
- L'aide à la maintenance des infrastructures matérielles.
- L'aide à la gestion de la billetterie.
- L'aide à l'information des voyageurs.

Les systèmes d'information d'aide aux déplacements des voyageurs (*SIADV*) ne sont finalement qu'un module spécial des systèmes d'aide à l'exploitation. Ils permettent d'assister le voyageur lors de son déplacement en lui proposant divers itinéraires et si possible l'orienter lors des perturbations. Par ailleurs, les systèmes d'information multimodale (*SIM*) sont des systèmes d'information d'aide à la décision (*SIAD*) qui intègre plusieurs compagnies de transport. Les SIM produisent et fournissent aux voyageurs une information multimodale qui renseigne sur les différents modes de déplacements possibles dans un périmètre géographique donné (Perreau, 2002). La figure (1.3) présente le lien entre les différents systèmes :



**Figure 1.3** Les liens entre SI, SAIE et SAD

Le nombre de voyageurs qui utilisent le transport en commun connaît une ascension importante, de même que le nombre de compagnies de transports se multiplie. Cette stratégie d'ouverture -conduite par l'Algérie- afin d'assurer au citoyen le droit de se déplacer dans les meilleures conditions se heurte au désarroi organisationnel et pousse souvent le voyageur à des difficultés pour la composition de son information multimodale. Avec les développements technologiques, plusieurs entreprises se mettent à la page en déployant leur système d'information d'aide aux déplacements sur internet. Ces sites web d'entreprises tel que celui de la SNTF<sup>7</sup> ou SOGRAL<sup>8</sup> ambitionnent d'organiser au mieux leur veille technologique.

Néanmoins, la croissance constante des compagnies de transports en commun et la transition qu'est entrain de connaître le monde de l'information par le biais de la numérisation de l'information créent un réel fossé entre les compagnies de transports et le voyageur. En effet, ce dernier doit avoir une connaissance parfaite sur toutes les entreprises opérant dans le marché, leurs itinéraires et les tarifications de chacune d'elles. Il est clair que le

<sup>7</sup><http://www.sntf.dz> site web de la société nationale du transport ferroviaire en Algérie.

<sup>8</sup><http://www.sogral.dz> site web de la société de gestion des gares routières en Algérie.

déploiement des systèmes d'information sur internet a simplifié cette tâche mais cela nécessite une connaissance de l'outil informatique et une mémorisation de tous les sites web de toutes les entreprises. De plus, les comparaisons entre les itinéraires et les tarifications entre les différentes entreprises nécessitent la disponibilité du voyageur.

L'un des objectifs de ce travail est de fournir une plateforme unique qui intégrerait plusieurs systèmes d'information d'aide aux déplacements de plusieurs entreprises. Cette globalisation des données multimodales éviterait aux voyageurs d'effectuer les recherches manuellement afin de trouver le meilleur itinéraire possible entre deux points ou afin d'identifier la tarification la moins chère. Nous parlons donc d'un système d'information multimodale.

### 1.7 Les Systèmes d'information multimodale existants

Plusieurs systèmes ont été développés –principalement en Europe- dans le but d'intégrer plusieurs systèmes d'aide à l'exploitation dans un même et unique système afin de faciliter l'accès à l'information multimodale. Si les modèles références sont « DELFI » et « Transport Direct » respectivement développé en Allemagne et Royaume Uni et qui sont basés sur une architecture distribuée, d'autres pays tels que la Suisse ou les Pays-Bas ont opté pour une architecture centralisée.

#### 1.7.1 « Delfi » : le modèle allemand

L'Allemagne est une République Fédérale. Il y a plusieurs domaines qui ne dépendent pas du droit national, mais plutôt du droit régional, celui des "Länder" (Etats allemands). La gestion des transports est donc répartie entre un ministère national et 16 ministères des Länder. Le plus souvent, ils sont regroupés avec d'autres ministères. Ex : "Ministère de l'Économie et des Transports", ou encore "Ministère des Transports et de l'Urbanisme", etc (Danflous, 2000).

Delfi<sup>9</sup> est le premier projet européen visant une meilleure organisation du transport des voyageurs en Allemagne. C'est un système d'information multimodale étendu à l'ensemble du territoire national. Il a été initié par le Ministère Fédéral des transports allemand en 1996. Ce projet est considéré comme une référence dans la littérature car il a été le premier système d'information national déployé sur le web.

Ce système permet la recherche et la composition d'itinéraire de porte à porte sur l'étendue du territoire allemand. Il a pour objectif de fournir l'information multimodale au voyageur même si elle dépend de plusieurs opérateurs. L'utilisateur n'a qu'à consulter le site web qui sert d'interface et questionner le système sur les trajets ou les informations qu'il souhaite obtenir. Il n'a pas à connaître les noms et les réseaux de toutes les compagnies. La réponse finale à sa requête lui offrira tous les détails nécessaires pour son trajet. Par ailleurs, Delfi est considéré comme un modèle « ouvert » car il laisse le marché des systèmes d'information et de l'information multimodale ouvert aux systèmes existants tout en encourageant de nouveaux partenariats avec des nouveaux fournisseurs d'informations. Tous les concepteurs

---

<sup>9</sup><http://www.delfi.de>

des systèmes d'information et de recherche d'itinéraires déjà existants en Allemagne ont participé au développement de ce projet (Zgaya, 2007).

Delfi est basé sur l'architecture CORBA (Common Object Request Broker) (Geib et al, 1997) qui, contrairement aux architectures traditionnelles, opère sur un modèle à trois niveaux basé sur des clients, des serveurs d'applications et des serveurs de données. Les objets clients communiquent avec les objets serveurs via des API (Application and Programming Interface) qui accèdent aux services requis et qui sont des interfaces standardisées pour la programmation des applications décrites IDL, un langage indépendant du langage de programmation IDL (Interface Definition Language). Il y'a donc plusieurs composants répartis sur plusieurs serveurs capables de réaliser plusieurs tâches.

DELFI est composé des modules suivants (Danflous, 2000):

- Une base d'information commune : c'est une base de données commune entre tous les serveurs, elle est copiée sur les différents systèmes locaux. C'est une méta-base qui contient plusieurs informations. Elle sert à effectuer les traductions et les transformations entre les différents langages utilisés par les différents systèmes qui intègrent DELFI. De plus, elle possède une table « responsabilités » qui permet de savoir quel sont les serveurs permettant le traitement d'une requête donnée.
- Un noyau local : qui permet de calculer les itinéraires demandés par les voyageurs. Chaque serveur implémente ses propres méthodes et algorithmes de calcul suivant les Länder(s) concernés.
- Un module d'identification des origines-destinations.
- Compositeur principal : est un super mécanisme qui permet d'effectuer les traitements répartis.

Comme chaque système, Delfi a été conçu en trois étapes. D'abord l'analyse des besoins des voyageurs qui a abouti sur une conception globale du système. La seconde étape a permis de tirer les premiers prototypes du système. Enfin la troisième étape avait pour but d'effectuer les tests sur le réseau à grande échelle. La figure (1.4) présente l'architecture globale de Delfi (Danflous, 2000).

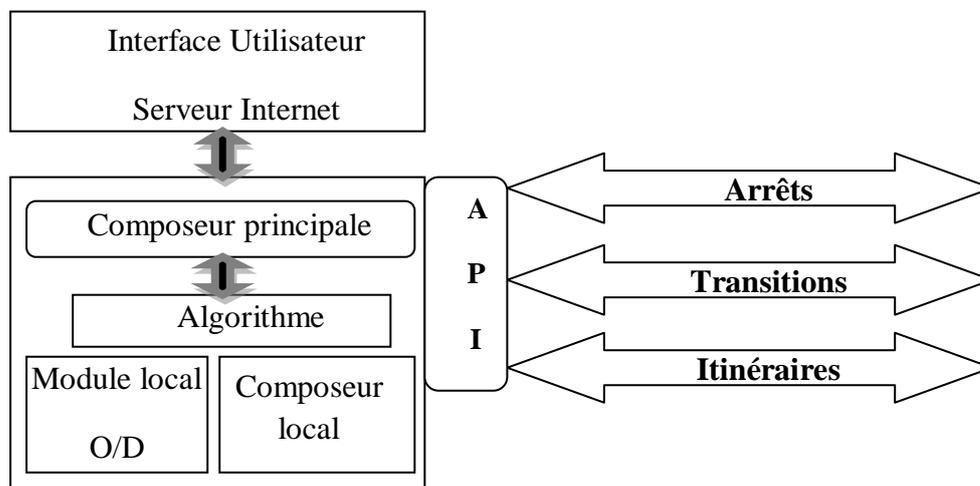


Figure 1.4 Architecture du modèle allemand DELFI [Danflous, 00]

Lorsqu'un voyageur décide d'effectuer un déplacement en faisant appel aux aides qu'apporte le système Delfi, il se connecte à l'un de ses serveurs via son adresse internet. En s'appuyant sur les noms des villes d'origine et de destination émis par le voyageur et les tables de responsabilités, le système sélectionne le serveur source et le serveur destination responsables des traitements de la requête. Une fois les adresses ou les noms des arrêts validés, le composeur principal sélectionne les serveurs intermédiaires responsables des traitements de la requête puis leur réclame les points de transitions pour le passage d'une zone à une autre. La requête est alors divisée en sous requête selon ces points de transitions et chaque serveur calcule l'itinéraire dont il est responsable. Une liste des itinéraires complets est dressée et le composeur principal définit l'itinéraire qui répond au mieux aux attentes du voyageur.

### 1.7.2 « Transport Direct » : Le modèle Anglais

Le modèle anglais « Transport Direct » a été lancé par le gouvernement anglais afin de lutter contre la congestion et la dérégulation des réseaux de transports publics tout en offrant une meilleure qualité de services sur un réseau multimodal national. « Transport Direct » s'inscrit dans le registre des développements visant à améliorer le transport des voyageurs, il représente une amélioration du projet « Traveline<sup>10</sup> » qui a été conçu quelques années auparavant. Le projet Transport Direct avait pour objectifs (Danflous, 2003) :

- La comparaison des modes de transports et des solutions possibles à travers tout le réseau, ainsi, le voyageur peut choisir l'itinéraire et les modes de transports les plus adéquats à ses préférences.
- La possibilité de réservation et du paiement du trajet dès la planification sans obligation de déplacement aux guichets spécifiques afin de faciliter cette tâche au voyageur.
- Informer le voyageur en temps réel sur toute information qui concerne son déplacement, ces informations peuvent être à propos des perturbations qui peuvent survenir ou des modifications des itinéraires.

Bien que « Traveline » remplisse en partie ces tâches, « Transport Direct » visait une meilleure couverture du réseau national et une meilleure disponibilité de l'information. Cette information devait être multimodale et multi-opérateurs. Ce projet ambitieux faisait de la couverture des services de l'information un pilier. Il est évident que l'implémentation d'un tel système nécessite une collecte importante d'informations et de données. Néanmoins cette tâche a été simplifiée car une grande partie de ce travail a été effectuée dans le cadre du projet « Traveline ». L'organisation de ces données a été faite de telle sorte à ce que l'accès soit dans les meilleurs délais, les données ont été réparties selon 11 régions distribuées géographiquement selon les villes du territoire britannique.

---

<sup>10</sup>Traveline fournit une information sur les horaires et les services d'un point d'origine (un arrêt par exemple) à un point d'arrivée tous modes de transport confondus (bus, métro, tramways, autocars, trains, ferries) et sur l'ensemble des huit régions du territoire anglais, plus le grand Londres, le Pays de Galles et l'Écosse.

« Transport Direct » utilise le protocole JourneyWeb<sup>11</sup> (Danflous, 2003), ce dernier -qui est ouvert et indépendant- permet aux calculateurs d'itinéraires de s'interroger et de communiquer dans le but de composer un itinéraire final en concaténant des bouts d'itinéraires fournies par des calculateurs appartenant à des systèmes d'information différents. Ce protocole utilise XML (McLaughlin, 2001) et TCP/IP (Caicoya et Saury, 2013) pour le transfert des données, son fonctionnement repose sur la disponibilité de deux bases de données :

- Un répertoire national (National Public Transport Gazetteer : NPTG) qui contient les noms de tous les lieux (villes, villages, points d'intérêts etc) afin d'identifier les systèmes à contacter dans le cas d'un déplacement longue distance. En effet, le calcul d'un itinéraire longue distance nécessite –dans la majorité des cas– l'invocation de plusieurs calculateurs d'itinéraires.
- Un répertoire local (National Public Transport Access Node : NaPTAN). qui contient l'ensemble de points que couvre un calculateur d'itinéraire local et qui permettent d'accéder au réseau Ces points peuvent être (arrêts, stations, entrées de gare etc).

Lorsqu'un utilisateur émet une requête au calcul d'itinéraire, le serveur local consulte les bases de données NPTG et NaPTAN afin de déterminer les serveurs distants chargés du calcul de cet itinéraire et les pôles d'échanges qui permettent d'accéder au réseau. Il calcule l'itinéraire entre le point source et le pôle d'échange adéquat puis concatène les bouts d'itinéraires acquis de la part des serveurs responsables du traitement de cette requête. Enfin, l'itinéraire final est proposé au voyageur. La figure (1.5) présente l'architecture de Transport Direct (Danflous, 2003).

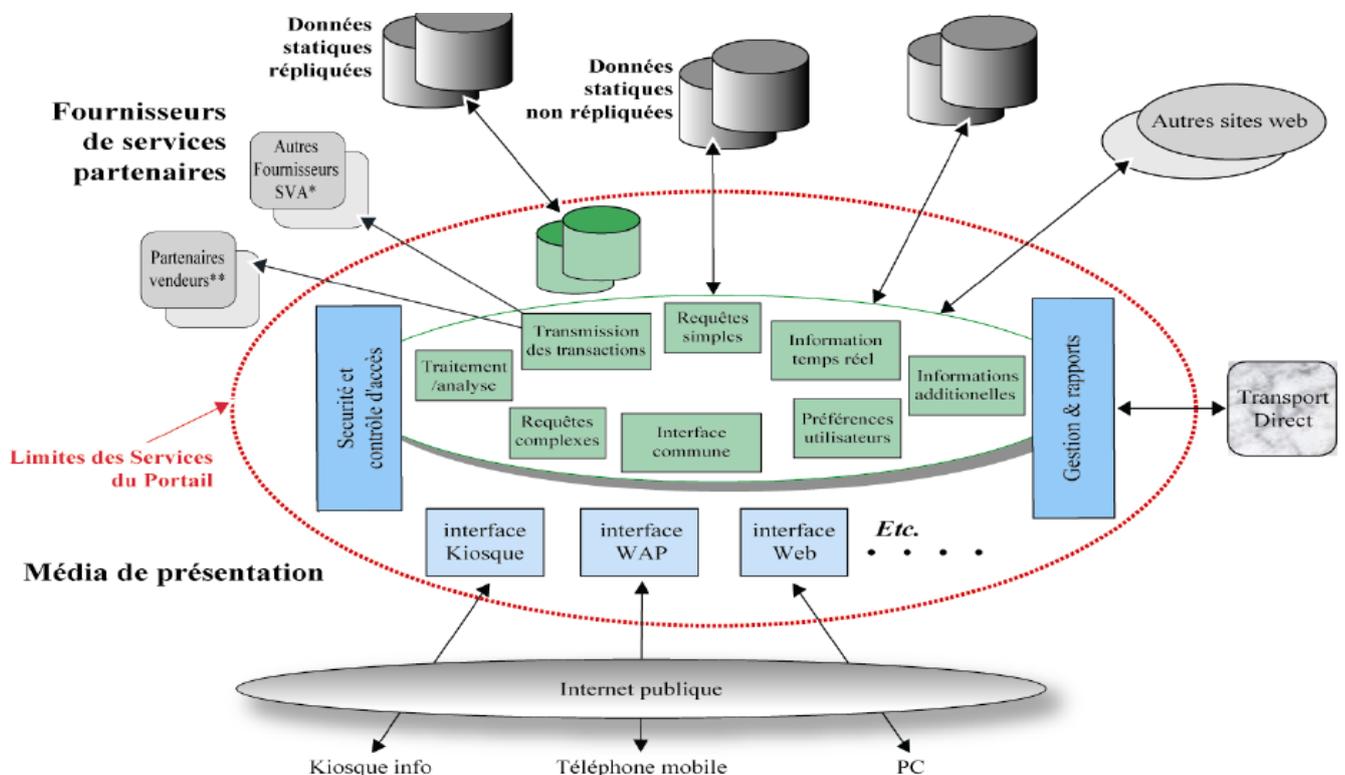


Figure 1.5 Architecture de Transport Direct

<sup>11</sup>Protocole réalisé par l'université de Southampton puis consolidé par des sous-traitements d'industriels.

### 1.7.3 Gofas : Le Modèle Suisse

Contrairement aux deux systèmes précédents « Delfi » et « Transport Direct », la Suisse a opté pour un modèle centralisé pour l'intégration des données. Ce choix peut s'expliquer par l'étendu géographique limité de ce pays. En effet, il est plus facile de gérer un ensemble de données restreint sur une architecture centralisée que sur une architecture distribuée. La figure (1.6) illustre cette architecture (Danflous, 2001).

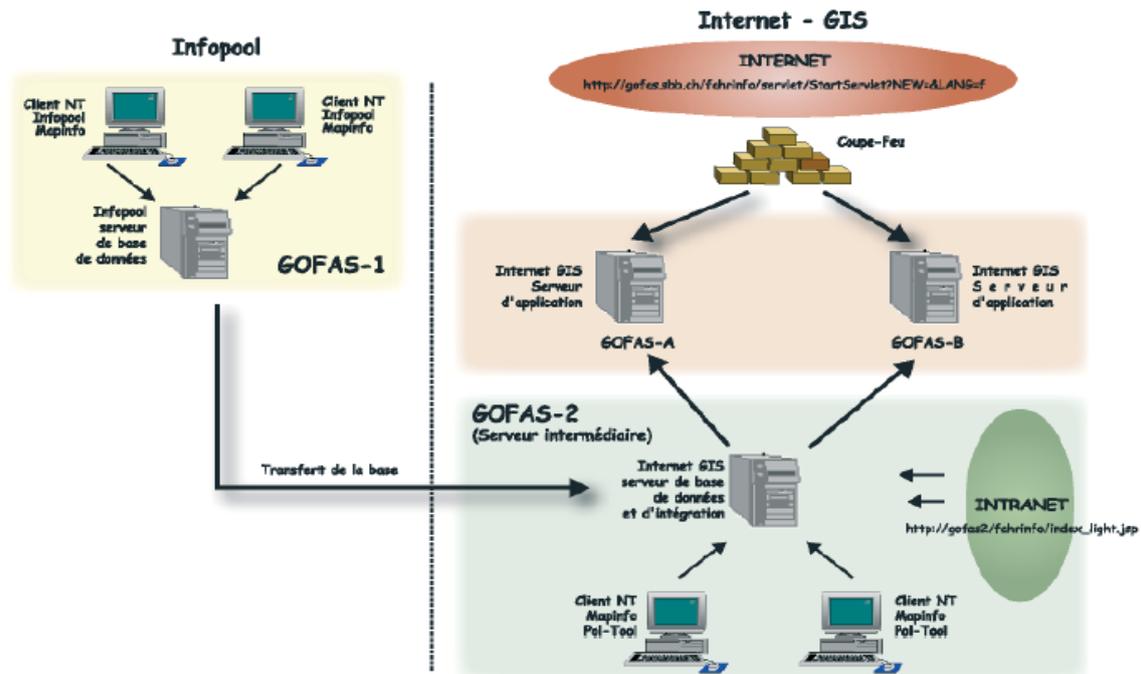


Figure 1.6 Architecture globale de Gofas

Gofas est composé de deux sous-systèmes (Danflous, 2001) :

- Infopool : il permet d'importer et de collecter l'information multimodale à partir des bases de données des différents opérateurs pour construire une base de données centralisée qui héberge l'ensemble des informations multimodales sur l'étendu national. Cette information multimodale concerne les horaires de passages et les listes de toutes les stations géocodés associées à leur correspondance. Les horaires sont fournis par les opérateurs sous format électronique une fois par an. Il est évident que chaque opérateur utilise son propre format de codification et de représentation, ce système se charge de les convertir vers un format spécifique *transform* afin de pouvoir les exploiter.
- Internet-GIS : Une fois la base de données Infopool construite, elle est d'abord transférée vers un serveur intermédiaire disponible sur le réseau intranet. Ce dernier permet d'effectuer les tests sur les nouvelles mises à jour de l'application et sur les améliorations effectuées. Il permet aussi d'augmenter l'application par de nouvelles

fonctions ou par de nouvelles informations multimodales tels que les points d'intérêts, commerces et hôtels.

Le cœur du système est le calculateur d'itinéraire qui opère sur la base de données InfoPool. Le traitement se fait d'une station vers une autre seulement. Le calcul d'une adresse vers une autre implique l'invocation d'une couche logicielle supplémentaire qui permet la visualisation des cartes via internet. Une fois le système approuvé, l'application est répliquée sur deux machines identiques et interchangeable qui servent de serveurs d'applications et qui permettent l'interaction avec les voyageurs. Le but d'utiliser deux machines similaires est de faire face aux pannes et de faciliter l'accès pour les voyageurs. En effet, l'un est dédié à la clientèle de langue allemande<sup>12</sup> tandis que le deuxième est dédié à la clientèle de langues française<sup>13</sup> et italienne.

### 1.7.4 9292:l'exemple des Pays-Bas

C'est un système qui fournit une information multimodale de déplacement et de perturbation (Danflous, 2006). Chaque année au mois de Décembre, toutes les entreprises fournissent l'ensemble des horaires et des informations sur leurs réseaux. Il n'existe pas de format spécifique à respecter pour la représentation des horaires. Le système se charge de modifier et de convertir les données de telle sorte à ce qu'elles soient exploitables. D'autre part, une base de données des adresses géocodées est utilisée pour le calcul des adresses de porte à porte.

### 1.8 L'intégration des données.

L'intégration de données représente aujourd'hui un grand défi pour les entreprises qui possèdent aussi bien des applications construites en interne que des applications acquises de l'extérieur. L'intégration de telles applications se heurte souvent au problème d'hétérogénéité causé par le nombre important des sources d'informations. Cependant, l'intégration des données représente aujourd'hui un enjeu économique majeur pour toute entreprise car elle permet de s'ouvrir vers d'autres systèmes et de communiquer avec d'autres applications sans avoir à passer par un basculement total de l'architecture. L'intégration de l'information représente aujourd'hui une intégration entre les différents systèmes d'information en passant par des middlewares dits intergiciels (Kamoun, 2007). Ces middlewares représentent une couche logicielle permettant à différentes systèmes d'information de communiquer entre eux sans avoir à établir une liaison directe point à point. L'intégration des systèmes d'information se fait aujourd'hui par le biais d'intégration des applications appelé Intégration des Applications d'Enterprise (EAI).

Il existe trois types d'intégration :

- Intégration au niveau utilisateur : il s'agit le plus souvent de l'authentification (logging) des utilisateurs sur plusieurs applications via un portail web. Il est effectué au niveau de l'interface de l'utilisateur.

---

<sup>12</sup><http://www.sbb.ch/home.html>

<sup>13</sup><http://www.cff.ch/home.html>

- Intégration des données : il s'agit d'intégrer plusieurs bases de données dans une même base de données. Cette démarche peut être effectuée de manière à avoir une base de données centralisé ou distribuée. L'objectif principal est de pouvoir importer et manipuler les données des autres bases.
- Intégration au niveau d'application : il s'agit d'un mécanisme d'envois et de réceptions de messages entre différentes applications. Cela se fait grâce à des middlewares qui supportent un ensemble d'API (Application Programmatic Interface) qui permettent l'accès aux différentes applications à intégrer par le biais de bibliothèques prédéfinis.

### 1.8.1 Les standards d'intégration

#### 1.8.1.1 XML

Le langage XML est un format général de document orienté texte. Il est considéré aujourd'hui comme un standard dans l'informatique. Il est dit extensible car il permet de créer des espaces de noms, sa syntaxe est reconnue par l'utilisation des chevrons (<>) qui encadre des balises. Il permet de stocker des documents mais aussi pour transmettre les données entre différentes applications. Il est caractérisé par :

- La séparation stricte entre contenu et présentation, ce qui facilite la transformation des données.
- La simplicité et extensibilité : l'ensemble des balises autorisées n'est pas figé, les noms des balises sont libres.
- L'auto-description : Le contenu décrit la structure des données qu'il transporte, cela facilite les échanges entre les applications.
- Langage libre : chacun peut l'utiliser sans devoir acheter une quelconque licence, cette absence de licence favorise énormément le développement de logiciels autour de XML.

#### 1.8.1.2 Service WEB

Selon W3C<sup>14</sup>, Un service Web est un composant logiciel identifié par une URI (Uniform Resource Identifier), dont les interfaces publiques sont définies et appelées en XML. Sa définition peut être découverte par d'autres systèmes logiciels. Les services Web peuvent interagir entre eux d'une manière prescrite par leurs définitions, en utilisant des messages XML portés par les protocoles Internet. Contrairement, aux plates-formes qui l'ont précédé tels que CORBA et Java RMI, les services web n'imposent pas de modèle de programmation spécifique (Melliti, 2004), les services web permettent d'intégrer des composants hétérogènes en standardisant les interfaces API et les protocoles de communication via internet (Fleury, 2005).

Une architecture orientée services web est définie par trois entités :

---

<sup>14</sup>World Wide Web Consortium est un organisme de normalisation à but non lucratif, fondé en octobre 1994 chargé de promouvoir la compatibilité des technologies du World Wide Web.

- Un fournisseur de service : il s'agit de l'entreprise ou du prestataire de service qui veut publier son service.
- Un annuaire : il joue le rôle de pages jaunes, il permet aux clients de chercher et d'identifier un service donné.
- Un client : qui cherche le service web correspondant à ses besoins sur l'annuaire des services afin de l'invoquer.

Les services web font partie des infrastructures les plus utilisées pour l'intégration des informations car ils permettent de mettre en place une architecture basée sur des composants hétérogènes.

### 1.8.2 Stratégie de l'intégration de l'information multimodale

Chaque compagnie de transport possède son propre SIAE. Le SIAD, qui n'est qu'un module du SIAE, permet d'effectuer des calculs sur un ensemble de données afin de fournir au voyageur l'itinéraire requis. Ces données sont statiques, elles concernent les stations et les arrêts du réseau et leur géo-localisation, les horaires de passages et les services offerts aux voyageurs. Le SIAD utilise au mieux ces données afin de fournir la réponse qui correspond le mieux aux préférences de l'utilisateur. Afin de composer de l'information multimodale entre plusieurs compagnies de transport, il est impératif d'intégrer leurs systèmes d'information. Pour réaliser cette tâche, deux stratégies d'intégration sont possibles :

- La première stratégie consiste à fusionner plusieurs bases de données de plusieurs compagnies de transport afin d'obtenir une seule base de données centralisée qui héberge les données des différents systèmes d'information ayant été fusionnés. Un seul réseau de transport sera donc obtenu, le SIAD doit être assez robuste pour effectuer ses calculs sur une masse de données volumineuse. Cette stratégie est donc une intégration des données. Le modèle suisse « GOFAS » est basé sur cette stratégie.
- La deuxième stratégie consiste à composer l'information multimodale à partir de plusieurs systèmes d'information d'aide à l'exploitation. Si l'on veut composer un itinéraire entre plusieurs opérateurs, l'idée est de questionner tous les SIAD qui sont responsables et de fusionner les sous-réponses. « DELFI » et « Transport Direct » sont deux architectures basées sur cette stratégie.

### 1.8.3 Standardisation de l'information voyageur

Pour effectuer des échanges entre différents acteurs, il est important de définir les données à échanger et leur format. De nombreux travaux sont réalisés afin de normaliser les représentations et les échanges dans le domaine des transports. Nous citons dans ce qui suit quelques normes de la représentation de l'information dans les transports.

#### 1.8.3.1 TRANSMODEL

Transmodel<sup>15</sup> est une norme initiée en France en 2001 et adoptée par la suite comme une norme européenne. Elle s'adresse principalement aux compagnies de transports pour les

---

<sup>15</sup><http://www.transmodel.org>

taches de planifications, régulations et exploitations (Liu, 2003). Elle concerne essentiellement les points suivant :

- Les horaires de passage.
- La gestion du personnel.
- La gestion en temps réel.
- Le traitement du tableau de bord et les statistiques.
- L'information des voyageurs.

Cette norme se présente sous forme de diagramme UML (Unified Modeling Language) (Booch et al. 2000) et Merise détaillés, elle est actuellement utilisée par la France, la Belgique, l'Italie, le Royaume Uni, les Pays-Bas et le Danemark (Zgaya, 2007).

### 1.8.3.2 TRIDENT

Trident<sup>16</sup> décrit un ensemble de schémas XML qui permettent d'effectuer des échanges entre les exploitants des voitures privées et transport en commun en mode normal et en mode perturbé.

### 1.8.3.3 SIRI

Siri<sup>17</sup> est un projet Européen qui a été initié en 2004, par l'Allemagne, la France, le Royaume Uni, et le Comité Européen de normalisation afin de normaliser l'échange de données en temps réel entre différents serveurs d'opérateurs de transport. L'information échangée concerne les tables de marches, les véhicules et les horaires de départs possibles dans les pôles d'échange. SIRI est un protocole d'échange de données de transport avec des requêtes/réponses en XML. Il se base sur TRANSMODEL comme modèle conceptuel de données.

## 1.9 Problématique

L'information multimodale représente une donnée cruciale pour tous les systèmes d'information d'aide à l'exploitation dans le domaine des transports. Beaucoup de travaux ont été effectués dans le but d'offrir les meilleurs services aux voyageurs. En effet, beaucoup d'entreprises de transport déploient aujourd'hui leur système d'information sur internet. Cette démarche se traduit par la possibilité de calculer les itinéraires menant d'un point A vers un point B en consultant simplement un site web. Cependant, il est difficile de trouver un système d'information pour l'aide aux déplacements sur un territoire géographique étendu tenant en compte tous les modes de transports possibles. La composition de l'information multimodale est un grand défi car, au-delà des difficultés techniques, elle se heurte à divers obstacles que l'on cite dans ce qui suit :

- Des raisons organisationnelles : beaucoup d'acteurs opèrent dans le domaine des transports en commun en Algérie. Comme expliqué, l'ouverture que connaît le pays a

---

<sup>16</sup><http://www.ertico.com/en/activities/activities>

<sup>17</sup><http://www.kizoom.com/standards/siri>

encouragé les particuliers à investir dans le domaine des transports. Il faut donc faire coopérer cet ensemble d'acteurs.

- Des raisons économiques : outre le fait que la production de l'information ait un coût, l'information multimodale représente un atout concurrentiel majeur pour les entreprises. Sa diffusion permet d'attirer plus de voyageurs, l'information multimodale peut donc rapidement devenir un outil clé pour la domination du marché.
- Des raisons juridiques : la mise à disposition de l'information pose clairement un problème de propriété. De plus, la responsabilité attachée à cette information en cas d'inexactitude est difficilement discernable.
- Des raisons techniques : la diversité de l'information engendre le problème d'homogénéité de données. Chaque entreprise possède son propre modèle conceptuel de données et se réfère à une norme donnée. Par ailleurs, la mise à jour des données par les entreprises en cas de perturbation peut être une tâche difficile dans la mesure où l'accès doit être rapide afin d'assurer l'exactitude de l'information pour le voyageur.

L'invocation des systèmes d'information multimodale existants implique :-Soit l'invocation de tout son réseau dans le cas où l'architecture est basée sur une intégration des données. (Ex : le modèle GOFAS). -Soit l'invocation inutile de quelques réseaux d'entreprise non concernée par la requête dans le cas où l'architecture est basée sur une décentralisation des données. (Ex : le modèle DELFI). Dans les deux types d'architectures, il y'a lieu de noter que des réseaux d'entreprises non concernées par les requêtes peuvent être invoqués.

Dans ce travail, nous proposons un système d'information multimodale qui permet d'assurer la composition de l'information multimodale entre plusieurs compagnies de transports et qui s'adapte au contexte du marché algérien. En effet, les détonateurs de l'information multimodale sont divers en Algérie, ils changent d'un mode de transport à un autre et d'une compagnie à une autre. Cette problématique est de deux enjeux, d'un côté produire l'information multimodale utile pour les voyageurs pour en faire un atout encourageant pour le tourisme, et d'un autre protéger les compagnies de transports de la concurrence afin de les encourager à adhérer au système global.

Nous essayerons dans ce travail de répondre aux deux questions suivantes : « *comment produire de l'information multi-opérateurs pour le voyageur tout en encourageant les entreprises à adhérer au système en leur procurant leur autonomie ?* » et « *comment minimiser le nombre de nœuds invoqués lors du traitement d'une requête de calcul d'itinéraire ?* »

### 1.10 Conclusion

L'information multimodale est la base de tout SIAD, la mise à disposition de cette information au profit des voyageurs leur facilite les déplacements et les encourage à s'aligner aux nouvelles technologies pour son obtention. Beaucoup d'entreprises mettent en ligne leur calculateur d'itinéraire, les stratégies et les algorithmes de ces calculs changent d'une compagnie à une autre. Néanmoins, il est difficile de composer un itinéraire lorsqu'il faut

faire appel à plusieurs compagnies pour aboutir à destination. Le voyageur doit avoir à sa disposition les informations nécessaires sur la composition des lignes du réseau et les horaires de toutes les entreprises du secteur concerné. Afin de remédier à ce problème, les systèmes d'information multimodale ont été proposés, ils permettent d'intégrer les systèmes d'information d'aide au déplacement dans un même système. Si le contexte et les techniques d'intégration changent d'une région à une autre, il est très fréquent -dans les systèmes existants- que des réseaux d'entreprises non concernés par le traitement d'une requête soient invoqués.

D'autre part, et contrairement aux idées reçues, l'information multimodale ne se résume pas aux calculs d'itinéraires. Cette notion qui est assez répandue peut s'expliquer par le fait que l'information la plus recherchée par le voyageur concerne les calculs d'itinéraires. L'information multimodale traite, en fait, les divers services liés au transport (itinéraire, horaire, information touristique etc). Nous proposons dans cette thèse un système d'information multimodale qui traite les calculs d'itinéraire et les informations touristiques tout en minimisant le nombre de nœuds invoqués.

# Modélisation des réseaux, systèmes multi-agents et clustering

## 2.1 Introduction

La mise en service d'un système d'information multimodale implique la coordination et la gestion de plusieurs paramètres. Afin d'appliquer les méthodes proposées et composer les informations finales, nous avons jugé essentiel d'étudier les différentes modélisations des réseaux de transport afin de mieux cerner le fonctionnement des différentes entreprises qui souhaitent intégrer le système global. Il est vrai que l'idée instinctive concernant la modélisation d'un réseau de transport nous envoie vers les graphes orientés. Néanmoins, les besoins de modélisation d'un réseau change d'un mode de transport à un autre. Si la modélisation d'un réseau de transport ferroviaire doit répondre à une prise en compte stricte des temps de passages, la modélisation d'un réseau de piétons peut être un simple graphe non orienté. Ces détails sont d'une valeur cruciale dans le cas de la mise en place d'un système d'aide aux déplacements de porte à porte.

Ce chapitre est organisé autour de trois parties. La première partie traite les différents types de modélisations et les différents graphes selon le besoin de chaque mode. Dans la deuxième partie, nous présentons un état de l'art sur les systèmes multi-agents (Ferber, 1995): définitions, caractéristiques, avantages, inconvénients et les diverses applications basées sur les agents dans le domaine des transports. La troisième partie concerne les grandes lignes et approches du clustering (Nisbet et al., 2009). En effet, lors de nos travaux nous avons proposé de décomposer le réseau de manière fictive et non pas selon les périmètres géographiques dans lesquels opèrent les compagnies de transport. Nous nous sommes intéressés plus particulièrement à la décomposition de Voronoï (Slimani et al., 2011) que nous utilisons dans le chapitre suivant.

## 2.2 Modélisation des réseaux

### 2.2.1 Théories des graphes (Berge, 1959)

Un graphe non orienté  $G = (V, E)$  est défini par l'ensemble fini  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  dont les éléments sont appelés sommets, et par l'ensemble fini  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  dont les éléments sont appelés arêtes. Une arête  $e$  de  $E$  est définie par une paire de sommets, ces sommets sont dits des sommets adjacents et représentent les extrémités de  $e$ .

Un graphe non orienté  $G = (S, A)$  est défini par l'ensemble fini  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  dont les éléments sont appelés sommets, et par l'ensemble fini  $S = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  dont les éléments sont appelés des arcs. Les couples  $(v_1, v_2)$  et  $(v_2, v_1)$ , notés respectivement  $v_1v_2$  et  $v_2v_1$ , représentent respectivement les arcs correspondant à ces sommets dans un graphe. Dans les graphes orientés, l'ordre des sommets dans les arcs est d'une grande importance dans la mesure où pour un arc  $v_1v_2$ , Le sommet  $v_1$  est appelé sommet source alors que le sommet  $v_2$  est appelé sommet destination.

Les arêtes dans les graphes non orientés et les arcs dans les graphes orientés peuvent être pondérés. En effet, une valeur peut leur être assignée. Cette valeur a une signification précise selon le but de la modélisation du réseau, elle peut représenter les temps des déplacements, la distance qui sépare les deux sommets ou les coûts de déplacement en termes de bénéfice ou

de perte. Dans la modélisation des transports en commun, la principale différence entre les différents modèles concerne la manière de représentation de cette pondération. Enfin, on appelle plus communément les sommets d'un graphe : des nœuds et les arcs ou arêtes : des liens ou connexions. La taille d'un graphe est en rapport direct avec le nombre de ses nœuds et de ses liens.

### 2.2.2 Algorithme de Dijkstra (Dijkstra, 1959)

L'algorithme de Dijkstra recherche les distances à partir d'un sommet source  $s$  vers tous les autres sommets du graphe  $G = (S, A, w)$  donné en entrée. Il permet ainsi de déterminer les chemins le plus courts vers ces sommets en ordre croissant de leur distance de  $s$ .  $S$  représente l'ensemble fini des nœuds,  $A$  représente l'ensemble fini des arcs et  $w$  représente l'ensemble des poids relatifs aux différents arcs. Notons  $d_s(t)$  la distance du plus court chemin de  $s$  à  $t$ . Au départ, seule la distance de  $s$  vers  $s$  est connue ( $d_s(s)$  vaut 0). L'algorithme de Dijkstra se présente comme suit :

---

**Algorithme 1** -Dijkstra( $G, w, s$ )

---

```

1: Soit P une file de priorité vide.
2: Soit ds un tableau de taille |S| initialisé à «non définie»
3: Soit Vus un ensemble vide de sommets.
4: ds[s] ← 0
5: Ajouter v à Vus
6: pour tout arc a sortant de s faire
7:     longueur ← ds[s] + wa
8:     insérer(P, a, longueur)
9: fin pour
10: tantque P est non-vide. do
11:     (u, v), poids ← extraire-min(P)
12:     si v ∉ Vus alors
13:         ds(v) ← poids
14:         Ajouter v à Vus
15:         pour tout arc a sortant de v faire
16:             longueur ← ds[u] + wa
17:             insérer(P, a, longueur)
18:         fin pour
19:     fin si
20: fin tantque

```

---

À chaque étape, l'algorithme choisit un arc  $(u, v)$  d'un sommet  $u$  dont la distance (de  $s$ ) est connue à un sommet  $v$  dont la distance (de  $s$ ) est inconnue. Cet arc est choisi afin de minimiser la distance totale de  $s$  à  $v$  si  $(u, v)$  est le dernier arc utilisé. C'est-à-dire l'arc  $(u, v)$  minimisant  $d_s(u) + w(u, v)$  est choisi et ce chemin utilisant le plus court chemin de  $s$  à  $u$  concaténé à l'arc  $(u, v)$  est déclaré comme le plus court de  $s$  à  $v$ . Par conséquent, la distance ( $d_s(u) + w(u, v)$ ) est choisi pour  $d_s(v)$  et un nouvel arc est sélectionné pour l'étape suivante. Afin de trouver rapidement l'arc  $(u, v)$  minimisant  $d_s(u) + w(u, v)$  à chaque étape. Une liste

d'arêtes non-vues provenant d'un sommet dont la distance est connue est maintenue. Si un arc entre deux sommets à distance connue est choisie, cette arête est considérée comme vue et l'exécution passe à l'étape suivante.

Plusieurs travaux ont été réalisés afin d'optimiser les processus de calcul de l'algorithme de Dijkstra et l'augmenter avec l'apport des choix multicritères (Ziegelmann, 2001 , Xu et al., 2007 , Shu-Xi, 2012).

La modélisation d'un réseau de transport peut être classée selon les différents modes de transports. Cette classification concerne de manière générale : la modélisation des réseaux ferroviaires, la modélisation des réseaux routiers et la modélisation des réseaux des piétons. Chaque mode possède ses propres priorités et ses propres caractéristiques (Pajor, 2009), cela ne permet pas d'avoir une modélisation unique pour tous les types de transport néanmoins le seul point en commun entre les différentes modélisations est la possibilité de pouvoir appliquer un algorithme de recherche d'itinéraire entre deux points. La modélisation des réseaux dépend clairement de l'approche et des caractéristiques de chaque mode de transport. Si la modélisation des routes peut être faite de manière simple à travers les graphes où chaque arête représente une route entre deux points et est pondérée par la distance qui les sépare, la modélisation d'un réseau de tramway ou d'autobus s'annonce nettement plus difficile. En effet, dans les transports en commun la notion de temps est très importante : les stations sont représentées par des nœuds mais la pondération des arêtes reste difficile du fait de la variance de leurs valeurs. Cette pondération dépend de l'état du trafic et de la congestion du réseau. Le temps d'un trajet d'un point A vers un point B change selon l'horaire, il est nettement plus rapide le soir que pendant les heures de pointes. Dans les transports en commun, le calcul d'un itinéraire dépend de manière directe de l'horaire de départ du voyageur. De ce fait, nous distinguons deux grandes voies de modélisations : les modèles dépendants du temps et les modèles indépendants du temps.

### **2.2.3 Les modélisations dépendantes du temps**

Dans les modèles dépendants du temps (Brodal et Jacob, 2004b), la distance entre les nœuds n'est pas constante. La pondération d'un lien dépend alors d'une fonction arbitraire. Le plus court chemin dans un modèle dépendant du temps change selon l'horaire de départ du voyageur. Le temps du voyage peut changer dans une même journée selon la densité du trafic. Dans ce sens, (Orda et Rom, 1991) ont proposé une approche pour la modélisation et calcul des plus courts chemins dans les graphes dépendants du temps.

### **2.2.4 Les modélisations indépendantes du temps (Pajor, 2009)**

Les modèles indépendants du temps sont très utilisés du fait de leur simplicité. Un modèle indépendant du temps consiste en un graphe où chaque nœud représente un point, les liens entre ces points sont pondérés par soit la distance qui les sépare soit le temps du parcours moyen. L'application d'un algorithme de recherche dans un modèle indépendant du temps permet de minimiser soit la distance de parcours, soit le temps de parcours. L'application d'un algorithme de recherche sur une telle modélisation fournit toujours la même réponse. L'un des algorithmes de recherches d'itinéraire les plus utilisés est l'algorithme de Dijkstra (Dijkstra,

1959). Les modèles indépendants du temps, bien qu'efficaces lors de l'utilisation des distances comme métrique se heurtent aux problèmes des temps de parcours dans les réseaux de transports en commun tel que les tramways et autobus. Dans le transport en commun, chaque entreprise dresse chaque année les tableaux de marche prévisionnels. Ces tableaux de marche permettent d'évaluer les temps de parcours entre deux stations selon les temps de passages, les journées et la densité du trafic. Il est impossible de prendre en compte les tableaux de marche dans une modélisation indépendante du temps. (Delling et al., 2009) ont effectué plusieurs travaux de recherche dans le domaine.

### 2.2.5 Modélisation des réseaux de transports en commun

Les réseaux ferroviaires restent les réseaux où l'on a appliqué le plus de recherches, en effet beaucoup de travaux se sont intéressés aux modélisations des réseaux ferroviaires pour l'importance économique que peuvent apporter les transports de marchandises. D'un point de vue transport des voyageurs, deux modèles permettent de modéliser les réseaux des transports en commun et prendre en compte la notion du temps. Ces deux modèles sont connus sous «les modèles dépendants du temps» et «les modèles expanded-time» (Pajor, 2009). Bien que leur appellation puisse porter confusion, ils gèrent tous les deux la notion de temps. Ces deux modèles existent en deux versions, une version simple et une version réaliste.

#### 2.2.5.1 Modèles simples

Lors de l'utilisation des modèles simples (Schulz et al., 2002), les tableaux de marche dans les réseaux des trains (tramway, autobus, etc.) constituent l'essence de la modélisation. Une donnée d'un tableau de marche peut être représentée par le tuple suivant  $(T, S_1, S_2, T_1, T_2)$  (Pajor, 2009). Ce tuple peut être interprété comme suit : un train se déplace d'une station  $S_1$  vers une station  $S_2$ , l'horaire de départ est  $T_1$  et l'horaire d'arrivée est  $T_2$ .  $S_1$  et  $S_2$  sont des stations adjacentes et il n'existe aucune station intermédiaire entre elles. Si le temps d'arrivée à  $S_2$  est supérieur au temps de départ de  $S_1$  alors le temps du trajet consiste en la différence entre  $T_2 - T_1$ . Si le temps de départ  $S_1$  est supérieur au temps d'arrivée  $S_2$ , cela s'explique par la notion de périodicité dans les tableaux de marche. L'horaire de départ du voyage était le soir et l'horaire d'arrivée était le jour d'après. Le temps du voyage est calculé par la somme entre le temps du voyage entre l'heure de départ à minuit et l'heure du voyage de minuit à l'heure d'arrivée.

$$\text{Le temps de déplacement } \Delta(T_1, T_2) = \begin{cases} T_2 - T_1 & \text{Si } T_2 > T_1 \\ 1440 - T_1 + T_2 & \text{Sinon} \end{cases}$$

#### A. Modèle Expanded- time

Les modèles expanded-time (Schulz et al., 1999) ont pour but de prendre en compte la notion de temps et la variabilité des pondérations des liens entre les différents nœuds selon les différents horaires du voyage. Les graphes de tels modèles sont des graphes statiques où toutes les informations relatives aux stations et temps de déplacements sont exploités. Selon (Schulz, 2005), les problèmes des expanded-time ont été largement étudiés dans (Ford et Fulkerson, 1958 ; Ford et Fulkerson, 1962). D'autres études plus récentes des variantes des

problèmes expanded-time ont été considérés dans (Fleischer et Tardos, 1998 ; Fleischer et Skutella, 2002 ; Fleischer et Skutella, 2003 ; Kaohler et al., 2002)

Dans les modèles expanded-time, nous distinguons deux types de nœuds dans le graphe : des nœuds physiques et des nœuds événementiels. Les nœuds physiques représentent les données réelles concernant une station ou un arrêt, ces informations traitent la latitude et longitudes des stations et d'autres informations relatives à la compagnie. Les nœuds événementiels représentent les horaires des départs et d'arrivées d'une station, chaque départ ou arrivé dans une station données est représenté par un nœud.

Les liens entre les stations sont de plusieurs types :

- Des liens entre deux nœuds événementiels de deux stations différentes : ces liens sont tirés des tuples des tableaux de marches. Le poids de ces liens est la durée du voyage de la station de départ à la station d'arrivé.
- Des liens entre deux nœuds événementiels appartenant à une même station : ces liens représentent soit des départ ou des arrivés propres à une station, ils sont tirés dans un ordre croissant selon le temps.

Le schéma suivant donne un aperçu sur les modèles expanded-time (à droite) et les modèles expanded-time réalistes (à gauche), les nœuds en jaunes représentent les événements d'arrivées, ceux en verts des événements de départs, tandis que ceux en mauves représentent les nœuds de transferts (Pajor, 2009).

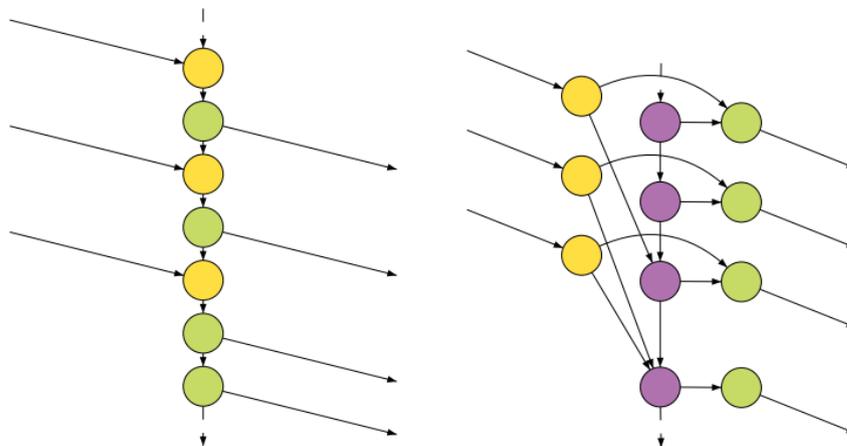


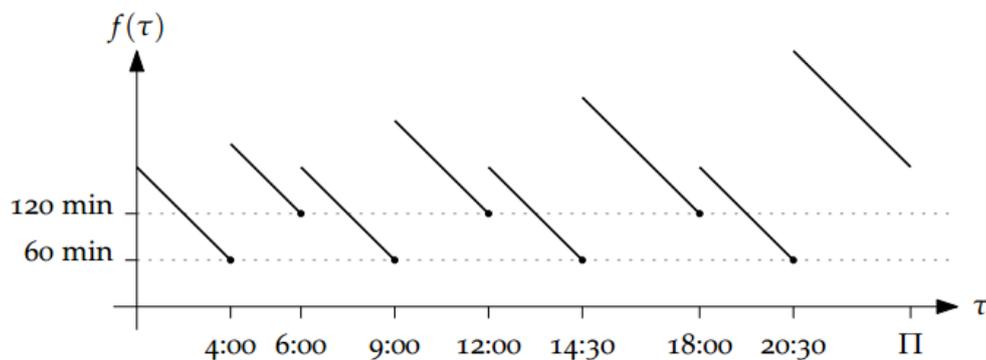
Figure 2.1 Les modèles expanded-time

## B. Modèles dépendants du temps

Les modèles dépendants du temps sont basés sur des graphes orientés appelés « graphes dépendant du temps » (Brodal et Jacob, 2004a). Dans ces graphes, chaque station est représentée par un seul nœud, les liens entre ces nœuds représentent les connexions directes entre les stations dans les tableaux de marche. Soit un lien entre la station A et la station B : le poids du lien qui relie ces deux stations  $e = (A, B)$  dépend de l'horaire de l'utilisation de ce

lien. Autrement dit, le poids d'un lien dans un graphe dépendant du temps est variable et dépend directement de la notion de temps. Afin de représenter cela, le poids d'un lien entre deux stations est calculé par une fonction arbitraire :  $w = f(t)$  où  $t$  représente l'horaire de départ d'un train (autobus, ou tramway etc.). Si un voyageur arrive à  $t_1$  alors que l'horaire de départ de son train est programmé à  $t_2$ , ( $t_1 < t_2$ ) alors le temps d'attente peut être calculé comme suit :  $w = f(t_1) + (t_2 - t_1)$

La figure (2.2) présente un exemple de la fonction de calcul des poids pour un graphe dépendant du temps dans un réseau de train. Il existe 4 trains rapides qui démarrent à 4:00, 9:00, 14:30 et 20:30 leur temps du voyage est de 60 minutes. Les trains lents sont au nombre de 3 et démarrent à 6:00, 12:00 et 18:00, leur temps du voyage est de 120 minutes (Pajor, 2009).



**Figure 2.2** Représentation de la fonction arbitraire dans les modèles dépendants du temps

(Schulz, 2005) explique que le plus court chemin dans les graphes dépendants du temps peut être facilement calculé quand les poids générés par la fonction arbitraire ne sont pas négatives et que la règle FIFO est respectée. Dans ce cas, la règle des valeurs positives est toujours respectée car les temps de déplacements et les temps d'attente sont toujours positifs, la règle FIFO est aussi respecté dans la mesure où chaque véhicule qui quitte une station est assurée d'arriver en premier à la station suivante. Seul l'enclenchement d'un processus de régulation dans le mode dégradé peut enfreindre cette condition (Bouamrane, 2006 ; Bouamrane et al., 2007). A partir de là, une modification rapide de l'algorithme de Dijkstra afin d'évaluer le poids des liens permet de trouver les plus courts chemins.

### 2.2.6 Modèles réalistes

Les modèles présentés permettent de résoudre le problème du chemin le plus rapide. Ces modèles, bien qu'efficaces, ne prennent pas en compte les notions de réalité d'un voyage. En effet, les modèles précédents considèrent les temps d'échange inter-stations comme étant négligeable, ils ne prennent en compte ni les temps de transfert, ni la minimisation des nombre d'échanges et l'optimisation multicritère reste très difficile à mettre en œuvre. Enfin, les modèles simples considèrent que les tableaux de marche sont les mêmes tous les jours de l'année or la réalité veut qu'il y est des jours fériés et des tableaux de marche propres à chaque journée.

Dans une station  $S$ , il est possible pour un voyageur de changer de train seulement si la différence entre le temps d'arrivée de son train source et le temps de départ de son train destination est supérieur à un temps de transfert minimum spécifique à cette station et noté par  $transfer(s)$ . Cette condition est expliquée par la formule suivante :

$$t_{\text{depart}} - t_{\text{arriv}} \geq \begin{cases} 0 & \text{Si même train} \\ transfer(s) & \text{Sinon} \end{cases}$$

Afin de prendre en considération cette notion de réalité d'un voyage, des modèles dits « réalistes » ont été présentés, ces modèles sont des variantes des versions simples.

### A. Realistic expanded times

Les modèles « realistic expanded-time » sont représentés par trois types de nœuds événementiels (Pyrga et al., 2004) : des nœuds de départ, des nœuds d'arrivées, et des nœuds de transfert. Les nœuds de départ et d'arrivée représentent un événement dans une station : soit l'arrivée soit le départ. Les nœuds de transfert permettent de prendre en compte le temps de transfert dans une station. Les liens entre ces stations sont de cinq types (Bendaoud et Bouamrane, 2013a) :

- Les liens de départ : pour chaque événement de départ, il existe un lien entre la station de départ et la station de transfert. Son poids est de zéro.
- Les liens du voyage : chaque événement de départ d'une station  $S_1$  est relié à une station d'arrivée  $S_2$ . Le poids du lien consiste en le temps du voyage.
- Les liens inter-transfert : les nœuds de transfert sont triés d'une manière ascendante (de la même manière que dans la version simple). Un lien est inséré entre deux stations de transfert séquentielles.
- Les liens de transfert : pour chaque nœuds d'arrivée, un lien est inséré vers un nœud de transfert. Ce lien doit respecter la condition du temps de transfert et permettre d'éventuels échanges de trains aux voyageurs. Ce lien est inséré de telle sorte à ce qu'il respecte le plus petit temps de transfert répondant à la condition :  $t_{\text{arriv}} - t_{\text{depart}} \geq transfer(s)$ .
- Les liens de continuité : Afin de permettre aux voyageurs de poursuivre leur voyageur au sein du même train, un lien est inséré du nœud arrivé vers le nœud de départ qui représente la station. Si aucune station de départ n'est disponible, le train est en fin de route.

### B. Modèle réalistes dépendants du temps

Tout comme les graphes expanded-time, les graphes dépendant du temps ne prennent pas en compte les temps de transfert dans les stations, c'est donc pour cette raison que des graphes réalistes des modèles dépendant du temps ont été créés. (Pajor, 2009) a défini les graphes réalistes dépendant du temps comme suit : chaque station dans le réseau est représentée par un nœud dans le graphe, ces nœuds sont appelés « les nœuds de stations ». Au lieu de relier ces stations directement par des arêtes comme dans la version simple, des nœuds dits « nœuds d'itinéraire » sont insérés afin de prendre en charge la notion de réalité. Un nœud de d'itinéraire est créé pour chaque nœud de station. Chaque nœud d'itinéraire permet de prendre

en charge l'ensemble des véhicules (trains par exemple) qui ont exactement le même itinéraire lors du déplacement afin de joindre la station concernée. Ces nœuds d'itinéraire sont alors reliés à leurs nœuds de stations respectives. La figure (2.3) donne un aperçu sur les modèles dépendants du temps (à gauche) et les modèles dépendants du temps réalistes (à droite).

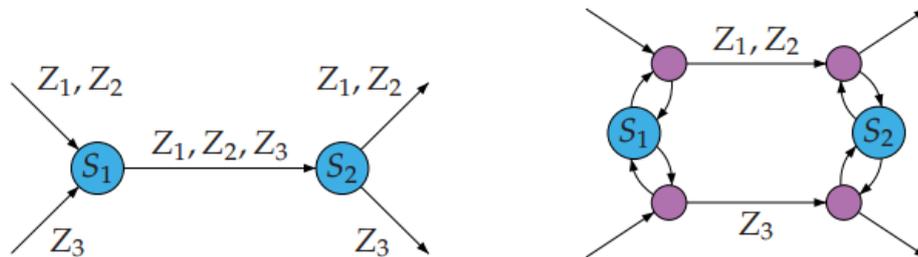


Figure 2.3 Les modèles dépendants du temps

Plus formellement, les véhicules sont divisés selon leurs itinéraires. Tous les véhicules qui suivent un même itinéraire à partir d'une station de départ à une station d'arrivée sont représentés par une même arête. Deux véhicules sont considérés comme étant identiques s'ils suivent exactement le même itinéraire. Un lien est inséré entre deux nœuds d'itinéraires avec un poids calculé par une fonction arbitraire de la même manière que dans la version simple. Un nœud est inséré à partir du nœud d'itinéraire vers son nœud station avec un poids de zéro. Un autre lien est inséré à partir du nœud station vers le nœud d'itinéraire avec comme poids le temps de transfert. Cette approche est appelée modèle réaliste dépendant du temps avec temps de transfert constant car tous les véhicules d'une station sont représentés par une même valeur de temps de transfert.

Les modèles dépendant du temps réalistes peuvent aussi être implémenté avec des temps de transferts variable dans une même station. En effet, selon les caractéristiques de chaque station, il est possible que le temps de transfert soit minime entre deux quais adjacents, par exemple, et assez conséquent entre deux quais distants. Néanmoins la mise en place d'un tel modèle reste difficile car la complexité du graphe devient très importante. De plus, l'absence des nœuds représentant les stations rend l'interconnexion avec d'autres réseaux très difficiles (Pyrga et al., 2007).

### 2.2.7 Comparaison entre modèles simples et modèles réalistes

Les modèles expanded-time et les modèles dépendants du temps sont très liés, ils permettent de modéliser les réseaux de transports en commun en se basant sur les tableaux de marche tout en prenant en compte les horaires des différents événements de départs et d'horaires d'arrivées des véhicules aux seins des stations. Dans les versions simples, les modèles expanded-time consistent à créer pour chaque événement de départ ou d'arrivée un nœud dans le graphe. Une station à forte congestion peut être représentée par des centaines de nœuds. Des liens sont insérés entre ces différents nœuds de telle manière à ce que l'application des algorithmes de recherche puisse être possible. Cette représentation a l'avantage de pouvoir être applicable assez facilement, son plus grand atout reste la facilité d'adaptation à l'algorithme de recherche d'itinéraire standard de Dijkstra (Pajor, 2009). Néanmoins, les modèles expanded-time portent de nombreux inconvénients dont

principalement la taille des graphes qui est très importante, le domaine d'application des algorithmes de recherche est assez grand et le processus d'exécution devient assez coûteux aussi bien en terme de temps qu'en terme de mémoire. Afin de remédier à cet inconvénient, une nouvelle organisation des connexions et des stations non concernées par les traitements des requêtes a été proposée (Delling et al., 2008). Enfin, il y a lieu de signaler que l'un des plus grands points négatifs des modèles expanded-time est l'impossibilité de connaître le nœud d'arrivée cible car le nœud final est un nœud événementiel qui représente l'horaire d'arrivée or cet horaire d'arrivée ne peut pas être donné à la soumission de la requête. Cette caractéristique rend l'utilisation des techniques d'optimisation telle que le calcul bidirectionnelle assez difficile à mettre en place (Pajor, 2009).

D'autre part, les modèles dépendants du temps permettent le calcul des plus courts chemins en utilisant une fonction arbitraire afin de définir les poids des liens entre les nœuds. Les modèles dépendants du temps dans leur version simple et version réaliste avec temps de transferts constant permettent de connaître le nœud de départ et le nœud d'arrivée dès le lancement de la requête car le graphe est composé d'un ensemble de nœuds ou chaque nœud représente une station. De ce fait, la taille des graphes dépendant du temps est nettement inférieure aux modèles expanded-time, elle est comparable à la taille d'un graphe d'un réseau simple. Néanmoins, la taille d'un graphe réaliste augmente avec un facteur de 5 par rapport à la version simple mais reste tout de même la plus petite représentation dans les modèles réalistes. L'un des inconvénients du modèle dépendant du temps concerne l'utilisation d'espace mémoire pour le stockage et le calcul des poids des liens entre les différents nœuds. Cependant, Des expériences menées, (Pyrga et al., 2007) ont permis de vérifier que cet inconvénient n'est pas très conséquent dans la mesure où le temps de calcul n'est pas très coûteux.

D'après (Delling, 2009), l'algorithme de Dijkstra a été amélioré afin de supporter les modèles dépendant du temps en posant l'hypothèse que tous les liens entre les différents nœuds respectent la propriété FIFO. Cette propriété est également appelée la propriété de non-dépassement, car elle indique que si  $A$  quitte le nœud  $u$  d'une arête  $(u, v)$  avant  $B$ ,  $B$  ne peut pas arriver au nœud  $v$  avant  $A$ . Le calcul des plus courts chemins dans les réseaux FIFO est polynomialement solvable (Kaufman et Smith, 1993). Dans les réseaux non-FIFO, la complexité dépend de la restriction si l'attente au niveau des nœuds est autorisée : Si l'attente est autorisée, le problème est polynomialement solvable, si elle n'est pas autorisée, le problème est NP-difficile (Orda et Rom, 1990). Dans ce sens, plusieurs recherches ont été effectuées dans le but d'améliorer les processus de calculs dans les modèles dépendants de temps (Pyrga et al., 2003; Schulz, 2005; Pyrga et al., 2007; Dissler et al., 2008).

Le tableau suivant permet d'effectuer une comparaison entre les différents modèles :

- Modèles simples ... **A**
- Expanded-Time ... **B**
- Realistic Expanded-Time ... **C**

## Chapitre 2 : Modélisation des réseaux, systèmes multi-agents et clustering

- Modèle dépendants du temps ... **D**
- Modèles réalistes dépendants du temps ... **E**

Chapitre 2 : Modélisation des réseaux, systèmes multi-agents et clustering

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<b>Prise en charge du temps</b>	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
<b>Réaliste</b>	Non	Non	Oui	Non	Oui
<b>Multicritère</b>	Oui	Non	Non	Oui	Oui
<b>Taille du graphe</b>	De l'ordre du nombre des stations	Très importante : Selon nombre d'événements Départs/Arrivées	Très importante : Selon nombre d'événements Départs/Arrivées	De l'ordre du nombre des stations	De l'ordre du nombre des stations
<b>Techniques d'optimisation</b>	Oui	Non / impossibilité de connaître le nœud destination	Non / impossibilité de connaître le nœud destination	Oui	Oui
<b>FIFO propriété</b>	Sans importance : Aucune notion de temps	Forcément respecté : graphe statique	Forcément respecté : graphe statique	Obligatoire	Obligatoire
<b>Interconnexion avec d'autres réseaux</b>	Possible	Possible	Possible	Possible	- Temps de transfert constant : Possible. - Temps de transfert Variable : Difficile

**Tableau 2.1** Comparaison entre les différents modèles de représentations des réseaux de transport

## 2.3 L'intelligence artificielle dans les transports

### 2.3.1 Les systèmes multi-agents

Dans la section précédente, nous avons étudié les différents modèles de représentation d'un mode de transport, plus particulièrement les modes de transport en commun. Si la modélisation d'un réseau permet l'application des algorithmes de recherches d'itinéraire, la gestion des requêtes des voyageurs et des informations de l'entreprise nécessite la mise en place de quelques algorithmes et d'un système de gestion. La programmation « classique » répond de moins en moins aux besoins des systèmes actuelles qui traitent des données distribuées et hétérogènes (Zgaya, 2007). De ce fait, les chercheurs ont fait appel aux outils de l'intelligence artificielle afin de répondre à leurs besoins. L'intelligence artificielle a pour but de créer et se doter de capacités intellectuelles comparables à celles des êtres humains (Russell et Norvig, 2003), elle traite notamment les problèmes liés aux raisonnements et à l'apprentissage. L'intelligence artificielle a permis de mettre en place des systèmes qui traitent des problèmes interdisciplinaires tels que :

- Les systèmes bancaires pour l'évaluation du risque du marché (Systèmes experts)
- L'éducation
- Les systèmes autonomes tels que les drones.
- La logistique par le biais d'approche heuristiques.

Les problèmes réels sont souvent très complexes, ils impliquent la mise en place de systèmes ouverts et distribués. Un système ouvert est celui dont la structure est capable de changer de façon dynamique. Les composants d'un tel système ne sont pas connus d'avance, ils changent au cours du temps et peuvent être constitués d'agents hétérogènes implémentés par des personnes différentes, à des instants différents et avec des techniques et outils différents (Zidi, 2005). Quand des problèmes inopinés surgissent, les agents doivent être capables d'interagir, se coordonner ou coopérer afin d'en faire face. Ainsi l'intelligence artificielle distribuée, sous-domaine de l'intelligence artificielle a été mise en place et s'est intéressé à un modèle d'agents interagissant, dans le but de résoudre un problème commun lié aux ordinateurs, aux personnes, aux capteurs, aux avions et aux robots. De telles architectures sont nommées des systèmes multi-agents (Green et al., 1997).

Dans ce sens, les systèmes multi-agents traitent souvent les problèmes à grande échelle liés à des données hétérogènes et distribuée. Si le problème à traiter est complexe et large, sa gestion se fait par sa décomposition entre plusieurs composants spécifiques et fonctionnels dits « agents » (Zidi et Hammadi, 2005). Chaque agent sera spécialisé dans le traitement d'un des sous-problèmes, on peut alors parler d'intelligence artificielle distribué (Ferber, 1995). Afin de mettre en place un système multi-agents cohérent, il est nécessaire de (Sycara, 1998):

- S'assurer que les agents prennent des décisions et effectuent des actions de manière cohérente.
- Permettre la communication entre agents.
- S'assurer que les agents puissent prendre des décisions de manière autonome.

## 2.3.2 Les Agents

### 2.3.2.1 Définition

Dans la littérature scientifique, plusieurs travaux ont porté sur les agents. De ce fait, de nombreuses définitions existent : (Jennings et Wooldridge, 1996) définit les agents comme des entités autonome alors que (Florez-Mendez, 1999) les définit comme des agents interactives. Afin de synthétiser, (Mandiau et al., 1999) définit l'agent comme une entité qui agit dans un environnement, il est capable de percevoir au moins partiellement son environnement et d'agir en fonction de cette perception. Enfin, Selon (Zgaya, 2007), (Ferber, 1995) définit dans son ouvrage un agent comme une entité physique ou virtuelle :

- qui est capable d'agir dans un environnement,
- qui est constituée d'un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs, individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser)
- qui possède ses propres ressources,
- qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (éventuellement aucune)
- qui possède des compétences et offre des services,
- qui peut éventuellement se reproduire,
- dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit.

### 2.3.2.2 Caractéristiques

Afin de mieux cerner le fonctionnement et les propriétés relatifs à un agent, nous pouvons citer les caractéristiques suivantes (Florez-Mendez, 1999) :

- **L'autonomie** : ou l'existence indépendante (Demazeau et Muller, 1990), un agent a les capacités d'agir sans l'intervention d'autres agents ou de l'être humain, il a le contrôle de ses actions et de ses états internes et peut prendre des initiatives sans l'intervention d'autres éléments externes.
- **La proactivité** : un agent ne se contente pas de répondre aux sollicitations des autres agents, il a les capacités de se fixer ses propres buts et objectifs.
- **La réactivité** : un agent est capable de réagir et de réordonner ses objectifs selon les changements survenus dans son environnement, ses priorités sont fixées selon sa perception de l'environnement
- **La sociabilité** : un agent est capable de communiquer et d'interagir avec d'autres agents afin d'échanger les informations nécessaires à son bon fonctionnement. On parle alors d'un mécanisme de coordination ou de coopération.

- **La continuité** : un agent doit être capable de maintenir son état d'activité ou d'un autre état sur longue période de temps.
- **L'adaptabilité** : un agent doit être capable d'apprendre, de s'améliorer et de s'adapter aux changements effectués dans son environnement. Ceci par le biais d'acquisition de l'expérience.

### 2.3.2.3 Typologies des agents

Les agents peuvent être classés selon différentes propriétés, la classification proposée par (Zgaya, 2007) nous a semblé la plus intéressante :

#### A. Classification par rapport à leur réactivité ou granularité

L'intelligence d'un agent est liée à sa capacité de raisonner, d'apprendre, de planifier et d'anticiper les décisions dans un environnement dynamique. Néanmoins, cette notion d'intelligence reste assez subjective car il est difficile de définir un agent « d'intelligent » et un autre agent de « moins intelligent ». Nous pouvons distinguer alors trois types d'agents :

- Agent réactif : c'est un agent qui ne réagit qu'à un stimulus, il ne possède aucun module de raisonnement interne et n'a aucune représentation de son environnement. Ces agents n'ont pas à réviser leur modèle après le changement de leur environnement. Cette caractéristique fait que les systèmes réactifs soient très rapides. En contrepartie, les agents réactifs ont un comportement dit « myope » car ils ne prévoient pas l'effet des décisions sur le système global.
- Agent proactif : c'est un agent capable de fixer ses propres objectifs.
- Agent cognitif : un agent réfléchit agit avant d'agir. Il possède les connaissances psychologies nécessaires afin d'atteindre ses buts. Les notions psychologies sont exprimées par le biais de croyances, désirs ou intentions.

#### B. Classification selon la mobilité

Cette classification a pour but de définir le rôle de l'agent au sein du système. Nous pouvons distinguer deux types d'agent :

- Agent stationnaire, c'est un agent qui passe tout son cycle de vie au sein du même système. Il s'implémente, s'exécute et se termine dans le même système. Il ne possède aucune mobilité.
- Agent mobile : c'est un agent qui a les capacités de se déplacer à travers un réseau, il se déplace d'un nœud vers un autre. Il possède les adresses réseaux et les informations nécessaires lui permettant de se déplacer vers les nœuds cibles. Cette notion est très utilisée dans les environnements fortement distribués. Un des plus grands avantages des agents mobiles est la gestion des charges de travail. En effet, un agent peut se déplacer afin de traiter une grande quantité de données situées sur un système distant. Par contre, leur gestion est difficile car il est délicat de communiquer et d'échanger des messages avec des entités en déplacement. De plus, l'hétérogénéité doit être prise en compte, les agents mobiles doivent avoir les capacités et les connaissances nécessaires afin de communiquer avec les systèmes distants.

### C. Classification selon le rôle

Cette classification se base sur le rôle joué par l'agent dans le système. Nous pouvons distinguer trois types d'agents :

- **Les Agents d'information** : ce sont des agents qui permettent la gestion des grandes quantités d'information à travers le web et via les moteurs de recherche. Ces agents peuvent être stationnaires tels que les agents de gestion de courriel ou mobiles afin de pouvoir naviguer sur le web et collecter les informations requises pour les présenter à l'utilisateur. Ces agents sont aussi appelés « agents Internet ».
- **Les Agents bases de données** : ces agents ont un rôle très important dans la gestion de grands volumes de données réparties entre plusieurs serveurs. Ils ont pour but d'extraire de l'information à partir d'une grosse masse de données. Ils permettent la recherche des données, l'extraction et les traitements des requêtes.
- **Les agents de détection d'intrusion** : ce sont des agents conçus pour assurer la sécurité dans les réseaux et systèmes informatiques. Ils ont pour objet de discerner toute tentative de nuisance matérielle ou logicielle. La détection consiste à scruter tous le trafic effectué au sein du réseau, d'analyser les données et lancer une alarme dans le cas d'identification d'une tentative malveillante.
- **Les agents de commerce** : ces agents facilitent les opérations commerciales effectuées par internet, ils permettent de visiter virtuellement les boutiques ou les lieux susceptibles d'intéresser les utilisateurs. On distingue deux types d'agents de commerce : d'abord, des agents orientés clients qui prospectent et cherchent sur internet afin de trouver les offres répondant aux caractéristiques des requêtes des clients. Puis, des agents orientés producteurs qui ont pour but de suivre et ficeler les goûts et les besoins des consommateurs.

#### 2.3.3 Interactions des agents

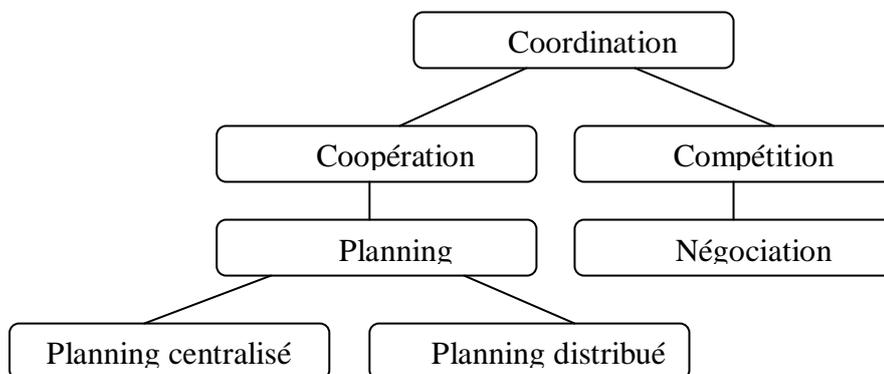
Si les agents disposent de caractéristiques intéressantes telles que l'autonomie qui leur permet de prendre des décisions sans l'intervention de l'être humain ou d'autres entités externes. La conception d'un système multi-agents soulève de nombreux problèmes dont nous pouvons citer :

- Comment permettre aux agents de communiquer et d'interagir pour résoudre leurs problèmes ?
- Comment assurer que l'interaction entre les agents se fait de manière cohérente sans que cela puisse nuire au système, tout en respectant les délais de réponse surtout dans le cas des requêtes prioritaires ?
- Comment reconnaître et identifier les conflits entre les différents agents tout en proposant un moyen de coordination entre eux ?
- Comment trouver le compromis entre le traitement local au niveau d'un seul agent et gérer le traitement distribué entre différents agents, comment gérer d'une manière cohérente les réponses calculées au niveau local avec celles calculées entre plusieurs agents (de manière distribué) ?

L'une des principales propriétés des agents est leur capacité à pouvoir interagir et de communiquer entre eux. D'après (Zgaya, 2007), (Doniec, 2006) définit l'interaction comme une relation dynamique instaurée entre plusieurs agents du fait de leurs actions combinées et réciproques. Ces interactions se présentent comme une suite d'actions pour un voyageur et qui permettent d'informer ou de modifier le comportement d'un autre agent. Ces différentes interactions vont dans le même sens. Il consiste à satisfaire au mieux les objectifs globaux du système. L'interaction peut être décomposée en trois phases non nécessairement séquentielles (Chaib-draa, 1996):

- La réception d'une information ou la perception d'un changement.
- Le raisonnement sur les autres agents à partir des informations acquises.
- Une émission d'un ou de plusieurs messages ou de plusieurs actions permettant de modifier l'environnement.

L'interaction peut prendre plusieurs formes : la coopération, la coordination, la négociation ou la collaboration. Néanmoins, elle est le plus souvent représentée par la notion de « coordination » qui fait référence à tous les processus utilisés dans la prise de décision et au comportement global d'un ensemble d'agent (Zgaya, 2007). (Weiss, 2000) définit la coordination comme la propriété d'un système composé d'au moins deux agents, exécutant des actions dans un environnement partagé. Cette notion de ressource partagée implique la nécessité de coordination entre les agents afin d'éviter toute situation chaotique dans le système et d'atteindre l'objectif global. Le schéma suivant décrit les différents types d'interactions entre agents selon (Weiss, 2000) et cité par (Kamoun, 2007) :



**Figure 2.4** Les différentes formes d'interactions entre les agents

A partir du schéma, nous pouvons remarquer qu'il existe deux grandes voies d'interaction entre les agents :

- Soit les agents se retrouvent dans une situation de compétition (par exemple : pour accéder à une même ressource) et entament une phase de négociation afin de trouver un compromis pour satisfaire leurs objectifs et éviter au système une situation

chaotique. Les agents en phase de négociations sont considérés comme des agents antagonistes car ils ont des objectifs différents et parfois contradictoires.

- Soit les agents coopèrent afin d'atteindre les objectifs du système en évitant toute situation de conflits.

Si dans L'interaction reste un mot assez vaste et peut porter confusion entre les différents types d'interactions telles que coopération, collaboration, négociation, etc. Nous expliquons dans ce qui suit les principales différences entre ces multiples modes d'interaction :

- **La coopération** : la coopération s'effectue entre des agents non antagonistes, elle s'effectue entre des agents qui ne sont pas en concurrence. La coopération consiste en une division des tâches entre les différents agents et permet d'éviter une situation de conflits potentiels (Ferber, 1995). Les agents coopèrent dans le but de résoudre un problème et d'éviter au système de tomber dans une situation incohérente. La coopération consiste à effectuer la décomposition des tâches d'une manière hiérarchique indépendamment les uns des autres. (Cammarata et al., 1983) ont étudié les stratégies de coopération pour pouvoir résoudre les conflits entre les plans d'un groupe d'agents.
- **La collaboration** : la collaboration est une notion très proche de la coopération et mène très souvent à des confusions. De nombreux travaux considèrent la collaboration comme une méthode de la coopération (Kamoun, 2007, Zgaya, 2007). En effet, tout comme la coopération, la collaboration s'effectue entre des agents non antagonistes dans le but de résoudre un conflit potentiel. Néanmoins, la principale différence consiste en la manière dont la répartition des tâches est effectuée. Ces tâches, même après répartition, restent assez entrelacées.
- **La négociation** : la négociation est un processus de communication entre plusieurs agents antagonistes dans le but de trouver un compromis qui satisfait toutes les parties et ainsi éviter que le système passe à un état dégradé. Les négociations sont menées de telle manière à ce que chaque agent garde une partie de ses propriétés tout en optimisant l'objectif global du système. Le processus de négociation peut induire des échanges d'informations, des relaxations des buts initiaux, des concessions mutuelles, des mensonges ou des menaces. Elle relève ainsi principalement de la recherche d'un consensus (Zidi, 2005). En somme, par négociation, on entend une discussion dans laquelle des individus intéressés échangent des informations et arrivent à un accord en commun (Davis et Smith, 1983). Plus généralement et selon (Pruitt, 1981), La négociation est le processus par lequel plusieurs individus prennent une décision commune. Les participants expriment d'abord des demandes contradictoires, puis, ils essaient de trouver un accord par concession ou par la recherche de nouvelles alternatives.

Afin de mieux exprimer les différences entre les modes d'interaction, nous considérons un exemple de deux agents cuisiniers : « cuisinier A » et « cuisinier B » :

- Dans le cas de la coopération, le cuisinier A peut-être le chef cuisinier et ainsi préparer le plat de résistance alors que le cuisinier B prépare les entrées et desserts.

- Dans le cas de la collaboration, les deux agents (cuisiniers) travaillent en étroite collaboration afin de préparer ensemble tous les plats, des conseils peuvent être prodigués dans les deux sens afin de réussir au mieux le repas et ainsi atteindre l'objectif final.
- Dans le cas de la négociation : nous pouvons considérer le fourneau comme une zone d'exclusion, un seul cuisinier peut y accéder un instant  $t$ . les agents cuisinier A et cuisinier B y négocient l'accès selon l'ordre du menu tout en respectant les délais maximales.

### 2.3.4 Communication entre Agents

Les agents ont besoin de communiquer afin d'interagir et d'atteindre leurs objectifs. Cette communication peut avoir lieu par le biais d'échanges directs entre les agents ou par le biais de l'environnement auquel ils appartiennent. Dans le cas où l'échange se fait de manière directe, les agents s'échangent des messages, ces messages doivent suivre une même syntaxe avec les mêmes normes afin d'être compréhensibles dans les deux sens. Dans le cas où l'échange se fait de manière indirecte, une base de données dite « tableau noir » ou « blackboard » est partagé et les agents y accèdent alternativement afin de diffuser l'information qu'ils veulent partager ou afin de récupérer l'information requise. La communication peut concerner deux agents seulement ou un ensemble d'agents appartenant un environnement.

La communication indirecte peut se faire par le biais d'agents intermédiaires, ce type d'agent récupérer l'information à partir de l'agent source afin de la délivrer à l'agent destination néanmoins l'inconvénient majeur de cette technique est la congestion possible du système surtout dans le cas d'une diffusion multiple d'un agent vers tous les autres agents. Comme remède, l'utilisation de l'environnement reste une technique assez intéressante. En effet, l'agent qui souhaite communiquer, modifie son environnement. Ces modifications seront donc visibles pour les autres agents afin qu'ils puissent prendre en compte les directives et actions relatifs à cette nouvelle information.

La communication directe se fait par le biais d'échange de messages entre les différents agents. Le message est envoyé par l'agent émetteur afin qu'il soit reçu par l'agent/les agents concerné(s). Plusieurs standards des langages de communications ont été validés afin de faciliter les échanges directs entre les agents. Ces langages sont basés sur des locutions telles que « demander » et « répondre ». Un des langages les plus connus est KQML<sup>18</sup> « KnowledgeQuery Manipulation Language » qui est le résultat des efforts de la DARPA<sup>19</sup> « Defense Advanced Research Project Agency » (Zgaya, 2007). Un autre langage courant est FIPA<sup>20</sup> « Foundation of Intelligent Physical Agents », il permet une grande interopérabilité entre les plateformes multi-agents. FIPA a proposé le standard de communication ACL « Agent Communication Language » comme langage de communication.

---

<sup>18</sup> [www.cs.umbc.edu/kqml](http://www.cs.umbc.edu/kqml)

<sup>19</sup> [www-ksl.stanford.edu/knowledge-sharing](http://www-ksl.stanford.edu/knowledge-sharing)

<sup>20</sup> [www.fipa.org](http://www.fipa.org)

KQML et FIPA sont très similaires sur leurs concepts et principes de bases, ils diffèrent principalement au niveau de leurs sémantiques. Leurs syntaxes sont identiques, la seule différence réside sur les noms des primitives. Enfin, la gestion des agents dans les deux standards est très différente notamment d'un point de vue enregistrement et localisation. Plusieurs outils ont été développés afin de faciliter la mise en place des plateformes multi-agent tels que Jade<sup>21</sup> « Java Agent DEvelopment Framework » et MadKit<sup>22</sup> (Multi-Agents Development Kit).

### 2.3.5 Organisation multi-agents.

Une organisation multi-agents (OMA) est définie par un système multi-agents dont les agents suivent les règles du système global tout en gardant leur autonomie (Mandiau et al., 1999). Comme expliqué dans (Horling et Lesser, 2005), il est généralement admis qu'il n'existe pas un seul type d'organisation qui convient à toutes les situations (Ishida et al., 1992, Corkill et Lander, 1998 ). Dans certains cas, aucun style d'organisation n'est approprié pour une situation donnée, et plusieurs types de structures organisationnelles sont nécessaires simultanément (Gasser, 1991; Horling et al., 2003). Certains chercheurs vont jusqu'à dire qu'aucune organisation parfaite n'existe pour n'importe quelle situation, à cause des inévitables compromis qui doivent être apportées, l'incertitude et le manque de cohérence globale dans les problèmes réalistes (Romelaer, 2002). Chaque organisation possède ses propres caractéristiques, avantages et inconvénients (Horling et Lesser, 2005), Nous expliquons dans ce qui suit les différents types d'organisation.

#### 2.3.5.1 Hiérarchique

L'organisation hiérarchique est probablement la plus ancienne structure pour la représentation des organisations multi-agents (Horling et Lesser, 2005). Les agents sont représentés sous forme d'une arborescence où chaque nœud représente un agent, il existe alors une relation d'autorité entre un nœud père et un nœud fils. Il existe alors plusieurs niveaux hiérarchiques. Chaque nœud communique des ordres aux sous-nœuds dont il est en relation, et tous les nœuds (agents) ont pour objectif de satisfaire les attentes du système. L'avantage de la structure hiérarchique consiste en cette décomposition de tâches entre plusieurs niveaux hiérarchique, ce qui offre la possibilité de faire appel à plusieurs groupes de travail. (Yadgar et al., 2003). La figure suivante donne un aperçu sur l'organisation hiérarchique (Horling et Lesser, 2005):

---

<sup>21</sup>: [jade.tilab.com](http://jade.tilab.com)

<sup>22</sup>: [www.madkit.org](http://www.madkit.org)

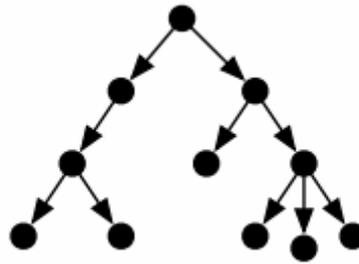


Figure 2.5 Organisation hiérarchique (multi-agents)

### 2.3.5.2 Holarchies

Le terme « Holon » a été présenté pour la première fois dans (Koestler, 1967). Cette approche est très similaire de l'approche hiérarchique mais sa principale caractéristique en fait la grande différence. En effet, il n'existe pas de relations d'autorités entre un nœud père et son sous-groupe. L'holon peut être vu comme une sorte d'agent récursif : un agent composé d'agents qui, à un niveau donné, a son propre comportement comme une conséquence partielle des comportements de ses composants (Alabrese, 2011). L'holarchie peut être perçue comme une forme particulière de la hiérarchie mais avec une faible notion d'autorité. La figure (2.6) donne un aperçu sur une organisation en holarchies (Horling et Lesser, 2005):

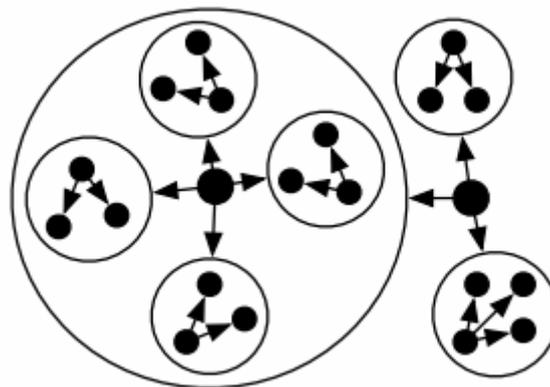
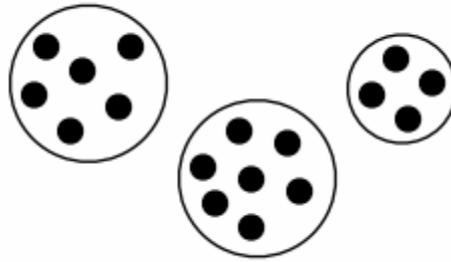


Figure 2.6 Organisation Holarchique (multi-agents)

### 2.3.5.3 Coalition

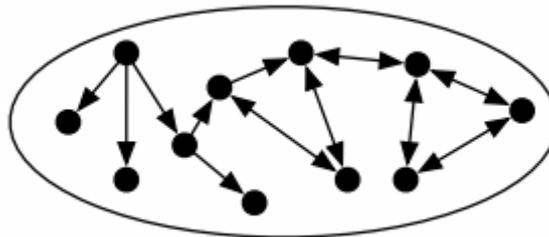
La coalition est une alliance temporaire entre plusieurs agents afin de satisfaire leurs objectifs personnels, des groupes de travail sont alors mis en place et les agents coordonnent afin d'atteindre l'objectif du groupe. La valeur de la coalition est supérieure à la somme des valeurs des objectifs des différents agents. Au sein de chaque groupe de travail, un leader peut prendre le rôle de coordinateur entre les différents agents. La figure (2.7) donne un aperçu sur une organisation en coalition (Horling et Lesser, 2005):



**Figure 2.7** Organisation en Coalition (multi-agents)

#### 2.3.5.4 Équipes

Les agents forment une seule équipe dans laquelle ils travaillent en collaboration dans le but de maximiser les intérêts de l'équipe (Fox, 1981; Tambe, 1997; Beavers et Hexmoor, 2001). Contrairement aux coalitions, les équipes essaient d'abord de maximiser les objectifs de l'équipe avant leurs objectifs personnels. L'avantage majeur de l'organisation en équipe est qu'elle permet de tirer une capacité collective pour pouvoir gérer les problèmes à très grande échelle (Grosz et Sidner, 1990). La figure (2.8) donne un aperçu sur l'organisation en équipe (Horling et Lesser, 2005) :



**Figure 2.8** Organisation en équipe (multi-agents)

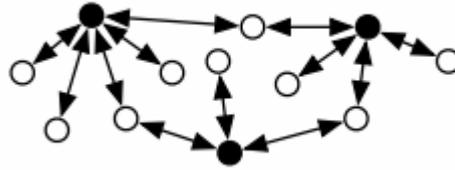
#### 2.3.5.5 Société

Consiste en un nombre varié d'agents qui interagissent et communiquent entre eux. Ces agents n'ont ni le même degré de rationalité ni les mêmes capacités mais sont soumis aux mêmes lois et les mêmes objectifs.

#### 2.3.5.6 Marché

Les organisations de type marché figure (2.9) tiennent leurs noms du principe existant dans les marchés. Dans ce type d'organisation, il existe deux types d'agents : des agents vendeurs qui proposent des produits et des agents acheteurs qui proposent des prix. Ces organisations peuvent faire l'objet de processus de négociation. Dans la figure (2.9), les nœuds en blanc représentent les acheteurs alors que ceux en noir représentent les vendeurs. Dans un cas pratique, les agents vendeurs peuvent, par exemple, offrir des services ou des ressources. Les agents acheteurs postulent pour avoir accès à ces ressources et un processus de négociation est enclenché. L'agent vendeur ayant soumis l'offre traite et détermine l'agent acheteur ayant gagné. Cette organisation est tirée du modèle producteur/consommateur et permet de

modéliser de manière très efficace les problèmes économiques du marché mondial (Wellman, 2004).



**Figure 2.9** Organisation marché (multi-agents)

Une organisation combinée mélange plusieurs des styles présentés ci-dessus (ou d'autres qui auraient été oubliés dans cette liste). Cela peut être, par exemple, une hiérarchie de coalitions ou une hiérarchie d'équipes.

### 2.4 La segmentation des réseaux et des données

#### 2.4.1 Approches de clustering

Afin de mettre en place notre approche tout en répondant aux objectifs de notre travail, à savoir la minimisation du nombre de nœuds (dans les graphes) invoqués dans le traitement des requêtes des voyageurs, nous avons décomposé les réseaux des différentes compagnies en plusieurs zones dans le but d'appliquer les algorithmes de recherches d'itinéraires que sur ces sous-réseaux.

Afin de satisfaire cette condition, une décomposition fictive du réseau était primordiale. Dans ce sens, nous nous sommes intéressés aux différentes méthodes de clustering<sup>23</sup> existantes. Il est évident que le nombre important des algorithmes de décomposition, aussi appelés, méthodes de classification non supervisés, ne nous a pas permis d'étudier toutes les méthodes proposées. Néanmoins, nous présentons dans cette partie les principales méthodes de classification non-supervisés. Le clustering permet de décomposer un groupe homogène de données en plusieurs sous-groupes de telle sorte à ce que les données d'un sous-groupe obtenu soient très similaires selon une métrique de similarité choisie au préalable.

Selon (Berkhin, 2002) cité dans (Candillier, 2006), il existe plusieurs applications permettant le clustering néanmoins leurs buts changent selon les attentes et les objectifs de chacune. Il est possible de les classer en trois groupes :

- La segmentation
- La classification
- L'extraction de la connaissance.

La segmentation d'un ensemble de données (une base de données par exemple) est une technique de découpage de la totalité des données en plusieurs groupes dont le principal objectif est la réduction de la taille des données afin d'optimiser les processus de recherche ou de calcul de manière particulière et de favoriser les traitements de manière générale. On parle

---

<sup>23</sup> Du mot Cluster : Traduction de l'Anglais vers le Français : *Rassemblement, Groupe*. Source : [www.larousse.fr](http://www.larousse.fr)

dans ce cas de condensation ou de compression de données (Candillier, 2006). Cette technique est souvent utilisée dans les traitements d'images dans le but de regrouper les pixels entre eux afin de former une région, ceci permet par exemple de distinguer les objets du fond de l'image. De manière plus générale, cette méthode permet de segmenter l'espace dans plusieurs bases de données spatiales, en particulier identifier les différents sous-espaces homogènes pouvant exister dans les bases de données OLAP<sup>24</sup>. Les besoins de clustering de notre travail s'inscrivent dans le cadre de cette technique. En effet, nous cherchons à segmenter plusieurs graphes en des sous-graphes afin de cibler l'espace d'application des algorithmes de recherche et alléger les processus de calculs.

La classification concerne principalement l'identification des sous-groupes qui possèdent des caractéristiques très similaires. Son but est de tirer les attentes de cette sous-population afin de leur offrir les meilleures offres (selon le contexte) possibles. La classification est dite « orientée gestion des clients » car elle permet très souvent de viser une catégorie de personnes bien précise et peut faire l'objet d'une stratégie de marketing. Les données utilisées dans cette technique représentent souvent des populations réelles de personnes telles que les clients d'une banque, d'un opérateur téléphonique ou d'une grande chaîne de distribution. Cela peut aussi concerner les internautes via les navigateurs web afin de tirer leur profil et ainsi répondre au mieux à leurs attentes.

L'extraction des connaissances permet dans un premier lieu de créer des sous-groupes très homogènes et d'établir des hypothèses ou règles de classification. Le but de cette technique est de pouvoir affecter les différentes données au groupe adéquat. Cette approche est très utilisée dans le domaine médical, si un patient présente des symptômes et son profil est similaire à ceux d'une certaine catégorie, il est possible alors de l'affecter, éventuellement, à ce groupe.

### 2.4.2 Notions de similarité

L'objectif du clustering est donc de créer des groupes homogènes selon le contexte d'application. Les éléments appartenant à un même groupe sont très similaires tandis que la similarité de deux éléments qui appartiennent à deux groupes différents est minimale. Il faut donc définir la métrique qui permet de calculer la distance entre deux éléments et ainsi définir quelles éléments sont les proches. Le choix de cette métrique change d'un contexte à un autre. Deux objets proches dans un domaine précis sont considérés comme similaires si la distance calculée entre ces deux objets est minimale. Le choix de cette métrique de calcul de distance entre deux éléments est malheureusement très souvent arbitraire selon le contexte de l'application et tous les éléments sont traités de la même manière (Candillier, 2006). Comme alternative, il est possible de faire appel à un expert du domaine d'application afin de déterminer les attributs et les caractéristiques les plus pertinents. Néanmoins, la contribution d'un expert du domaine peut être très coûteuse et difficile à mettre en œuvre si le nombre de données et attributs sont importants. Une distance entre deux éléments se définit par une application de  $E \times E \rightarrow \mathbb{R}^+$  telle que,  $\forall i, j, k \in E$  :

---

<sup>24</sup>On-Line Analytical Processing

- 1)  $d(i, j) = d(j, i)$  symmétrie
- 2)  $d(i, j) \geq 0$
- 3)  $d(i, j) = 0 \Leftrightarrow i = j$
- 4)  $d(i, j) \leq d(i, k) + d(k, j)$  inégalité du triangle

Remarque : Afin de déterminer la similarité entre deux éléments, plusieurs méthodes ont été proposées. Ces méthodes peuvent être classées en deux catégories : la première catégorie utilise les métriques de distances entre les éléments, la deuxième catégorie utilise la mesure de similarité entre deux éléments. Ces deux méthodes sont très proches l'une de l'autre. Lors de l'utilisation des métriques de distances, si la distance entre deux éléments est grande alors la similarité est faible. En contrepartie, si la distance entre deux éléments est faible, alors la similarité est grande. Nous proposons dans ce qui suit quelques métriques de distances (ou mesure de similarité) classiques dans le clustering.

#### 2.4.2.1 Distance euclidienne

La distance euclidienne est une distance géométrique utilisée dans un espace multidimensionnel, elle est très souvent utilisée au carré. Si deux éléments sont soumis au calcul de similarité euclidienne, alors les deux éléments doivent avoir la même dimension (ils doivent avoir le même nombre d'attributs). La distance euclidienne entre deux éléments  $x$  et  $y$  se calcule par le biais de la formule suivante :

$$d(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i - B_i)^2}$$

Afin d'obtenir l'indice de similarité entre  $x$  et  $y$  et puisque plus la distance euclidienne entre  $x$  et  $y$  est grande, moins la similarité existe. Il est possible d'utiliser l'inverse de la distance euclidienne, la distance se présente alors comme suit :

$$\text{similarité}(A, B) = \frac{1}{1 + \sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i - B_i)^2}}$$

#### 2.4.2.2 Similarité cosinus

La similarité cosinus permet de calculer la similarité entre deux vecteurs (éléments) de dimension  $n$ . elle se base sur le calcul du cosinus de l'angle entre les deux éléments. Cette métrique est souvent utilisée dans la fouille de texte. La valeur de la similarité cosinus appartient à l'intervalle  $[-1, 1]$ . Si la valeur est de 1, alors les vecteurs sont colinéaires et donc similaires. Si la valeur est de -1, alors les deux vecteurs sont opposés et aucune similarité n'existe entre les deux vecteurs. Enfin les valeurs appartenant à l'intervalle  $[-1, 1]$  représentent le degré de similarité entre les vecteurs. La formule suivante permet de calculer la similarité cosinus entre deux éléments (vecteurs) :

$$\cos(\theta) = \frac{A \cdot B}{\|A\| \|B\|} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i)^2}}$$

### 2.4.2.3 Indice de Jaccard

L'indice de Jaccard permet de calculer la similarité entre les éléments composés d'attributs binaires. Si nous considérons deux attributs  $A$  et  $B$  de taille  $n$ . Nous pouvons représenter :

- $M_{11}$  : représente le nombre d'attributs qui valent 1 dans  $A$  et dans  $B$
- $M_{01}$  : représente le nombre d'attributs qui valent 0 dans  $A$  et 1 dans  $B$
- $M_{10}$  : représente le nombre d'attributs qui valent 1 dans  $A$  et 0 dans  $B$
- $M_{00}$  : représente le nombre d'attributs qui valent 0 dans  $A$  et dans  $B$

Nous pouvons alors calculer la similarité de Jaccard par la formule suivante (Pang-Ning et al., 2005) :

$$J_{\delta} = \frac{M_{01} + M_{10}}{M_{01} + M_{10} + M_{11}}$$

### 2.4.3 Algorithme des K-moyennes

L'algorithme des k-moyennes permet de décomposer un ensemble de données en plusieurs groupes (clusters). Le nombre de clusters  $k$  est prédéfini au préalable. La méthode k-moyenne (k-means en Anglais) a été introduite par (McQueen, 1967). D'autres variantes ont été proposées afin de d'étendre et améliorer les capacités de l'algorithme (Zhang et al., 1999; Pelleg et Moore, 2000; Zhang et Rudnicky, 2002; Hamerly et Elkan, 2003; Likas et al., 2003). L'algorithme des k-moyennes se présente par les étapes séquentielles suivantes :

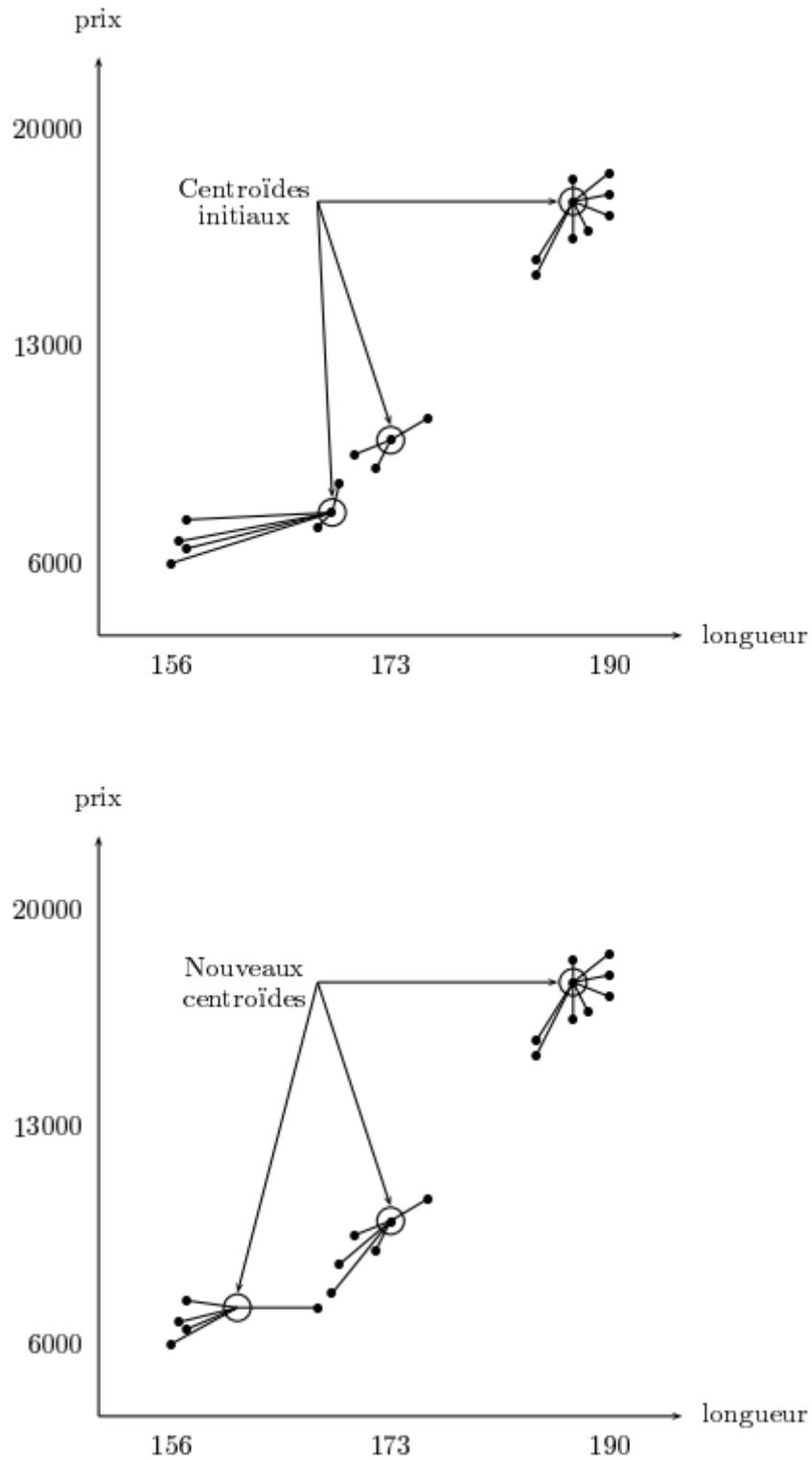
- Choisir un ensemble  $K$  des éléments choisis de l'ensemble des données, cet ensemble représente les centroides initiaux représentant les clusters.
- Assigner chaque objet au cluster dont le centroide est le plus proche en se basant sur une unité de similarité ou une métrique de distance.
- Tant qu'un objet change de cluster d'une itération à une autre :
  - o Sélectionner les nouveaux centroides en calculant les nouveaux « centre de gravité »
  - o Affecter chaque élément à un cluster en calculant les distances avec les nouveaux centroides.

Le tableau (2.2) présente les différentes caractéristiques de la méthode k-moyenne (Candillier, 2006) :

Caractéristiques	Valeur
Connaissances à priori	Nombre de cluster $K$
Présentation des résultats	$K$ Centroides
Complexité	$O(M \times N \times K)$
Déterministe	Non
Incrémental	Oui
Any-time	Oui
Hard	Oui
Prise en compte du contexte	Non
Tolérance au bruit	Non
Tolérance à l'effet de chaîne	Oui

**Tableau 2.2** Caractéristiques de l'algorithme des K-moyennes

L'une des grosses difficultés à soulever lors de l'utilisation de la méthode des k-moyennes consiste en le choix du nombre des clusters à utiliser. Ce choix au préalable du nombre des clusters peut aussi être un avantage dans certains mais reste difficile à définir lors de l'exploration des domaines méconnus. L'une des stratégies permettant de définir ce nombre de clusters consiste à générer plusieurs partitions en modifiant le nombre de cluster et effectuer un test de statistiques afin de sélectionner le meilleur nombre de clusters possible (Hamerly et Elkan, 2003). La sélection des objets d'initialisation de l'algorithme des k-moyennes (au-delà du fait de leur nombre) représente un défi majeur et assez arbitraire, les clusters obtenus changent d'un ensemble d'objets d'initialisation à un autre. (Candillier, 2006) a schématisé un processus de clustering avec les méthodes des k-moyennes :



**Figure 2.10** Exemple d'un processus de clustering en utilisant la méthode des K-moyenne. Le premier plan indique la première et la deuxième itération, le deuxième indique la troisième itération

#### 2.4.4 Méthodes hiérarchiques

La classification hiérarchique consiste en la création d'une hiérarchie de clusters, la racine de l'arbre représente l'ensemble des objets. Plus l'arbre est exploré, plus les clusters selon une mesure de similarité sont mis en place. La classification hiérarchique est de deux types soit ascendante, soit descendante :

La classification hiérarchique descendante démarre avec un seul cluster et le divise en plusieurs clusters de telle manière à ce que les clusters résultants soient les plus différents possibles, cela jusqu'à obtenir les feuilles qui représentent les objets du cluster initial, l'algorithme correspondant se présente comme suit:

- Une seule classe est considérée et qui contient l'ensemble de tous les objets
- Les objets de la classe sont scindés en deux classes  $A$  et  $B$
- L'affectation d'un objet à une classe  $A$  ou  $B$  se fait comme suit :
  - o  $A$  est composé, au départ, de tous les éléments.  $B$  est vide.
  - o Pour chaque objet  $a$  de  $A$ , le calcul de la dissimilarité moyenne avec les autres éléments est effectué. L'objet  $m$  ayant la plus grande dissimilarité moyenne est affecté au groupe  $B$ .
  - o Pour chaque objet  $a$  de  $A$ , le calcul de dissimilarité moyen par rapport à  $A$  et  $B$  est effectué. L'objet ayant la plus forte différence  $d(a, A) - d(a, B)$  est affecté à  $B$  sinon l'algorithme s'arrête.

La classification hiérarchique ascendante démarre avec autant de clusters que d'objets, chaque objet représente un cluster, les clusters jugés les plus similaires sont fusionnés jusqu'à l'obtention du cluster final qui représente l'ensemble de tous les objets, l'algorithme correspondant se présente comme suit :

- Chaque objet représente une classe
- La distance entre objets et classes sont calculés par le biais de mesures ou critères d'agrégation.
- Les deux objets ou les des classes les plus similaires sont fusionnés et représentent une seule classe

Pour calculer la distance entre deux clusters, nous retrouvons deux cas : la fusion à effectuer lors de la méthode ascendante concernera les clusters les plus similaires alors que la division à effectuer lors de la méthode descendante concerne les clusters les moins similaires, la principale différence est donc une question de division et fusion. Afin de calculer ces mesures de distances entre clusters, il existe trois méthodes (Candillier, 2006):

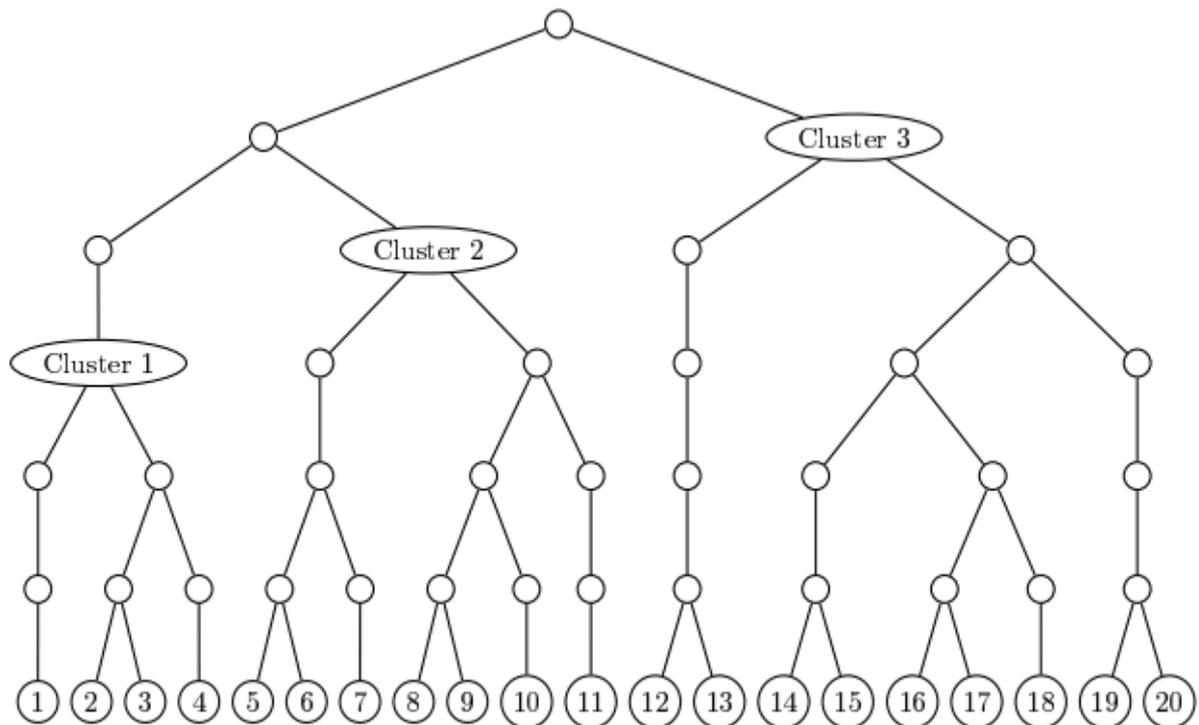
- Single-link : la distance entre deux clusters est le minimum des distances entre toutes les paires d'objets appartenant à des clusters différents.
- Complete-link : c'est le maximum de ces distances qui est utilisé
- Average-link : c'est la moyenne des distances.

Il faut donc adapter l'une de ces trois méthodes aux algorithmes de classification hiérarchiques ascendante ou descendantes présenté ci-dessus. Le tableau (2.3) représente les différentes caractéristiques des modèles hiérarchiques présenté par (Candillier, 2006):

Caractéristiques	Valeur
Connaissances à priori	Nombre de cluster ou seuils
Présentation des résultats	Hiérarchique
Complexité	$O(M \times N^2)$
Déterministe	Oui
Incrémental	Non
Any-time	Non
Hard	Oui
Prise en compte du contexte	Non
Tolérance au bruit	Non
Tolérance à l'effet de chaîne	Non

**Tableau 2.3** Caractéristiques de la méthode hiérarchique

(Candillier, 2006) a schématisé un processus de clustering avec les méthodes de classification hiérarchique, figure (2.11):



**Figure 2.11** Présentation de la méthode hiérarchiques

Les méthodes de classifications hiérarchiques présentent l'inconvénient de leur efficacité lors de l'utilisation de grandes sources de données. En effet, leur complexité est quadratique en fonction du nombre d'objets de base. Enfin, elle souffre du problème de l'effet de chaîne c'est-à-dire, que deux clusters proches mais distincts peuvent être fusionnés s'il existe une chaîne qui les relie (Candillier, 2006).

### 2.4.5 Les diagrammes de Voronoï

Les diagrammes de Voronoï aussi appelés décomposition de Voronoï, algorithme de Voronoï ou décomposition de Voronoï consiste en une décomposition particulière d'un espace métrique. L'algorithme de Voronoï n'est pas un algorithme de classification par apprentissage non supervisé. Selon (Camille, 2008), les diagrammes de Voronoï sont des structures de données fondamentales étudiés dans le domaine de la géométrie algorithmique. Un diagramme de Voronoï consiste en le partitionnement d'un espace défini en régions, chaque région réunit les points qui sont les plus proches d'un objet que de tous les autres. Les diagrammes de Voronoï ont été utilisés dans divers domaines (Aurenhammer, 1991; Okabe et al., 2000):

- Détection des systèmes de communications sans fil.
- En architecture, Le réaménagement du « The Arts Centre Gold Coast » (ARM-Architecture).
- En apprentissage automatique, pour les calculs des  $k$  plus proches voisins (Mitchell, 1997)
- En épidémiologie, pour la localisation des zones touchée par une épidémie dans une vaste zone géographique.
- Calcul des trajectoires en robotique mobile.
- En médecine, pour la localisation des cellules cancéreuses.

Les diagrammes de Voronoï peuvent être définis comme suit : soit un ensemble de  $N$  sites  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ , pour chaque site de  $S_i$ ,  $S_i.x$  et  $S_i.y$  représentent les coordonnées- $x$  et les coordonnées- $y$  de  $S_i$ . Les diagrammes Voronoï de  $S$   $VD(S)$  est la décomposition du plan en  $N$  régions/cellules selon la règle du plus proche voisin : Chaque région correspond à un site et est composé par l'ensemble des points du plan qui ont ce site comme étant le plus proche que de tous les autres sites (Slimani et al., 2011). Une décomposition schématique par les diagrammes de Voronoï est présentée dans la figure (2.12) :

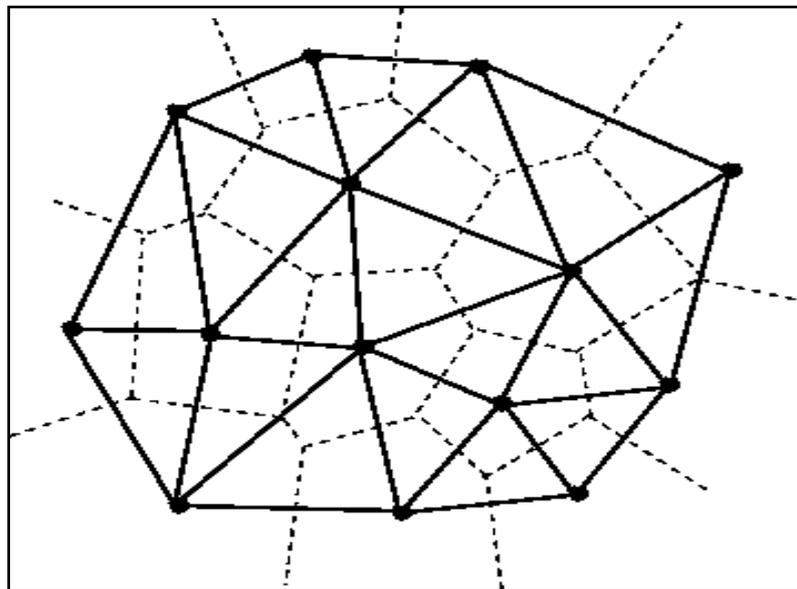


Figure 2.12 Le diagramme de Voronoï sur huit sites générés aléatoirement

Plusieurs travaux se sont intéressés à l'implémentation de l'algorithme Voronoï :

- Shamos a démontré en 1975 qu'il est possible de calculer le diagramme de Voronoï d'un ensemble de  $n$  points du plan avec une complexité de temps de  $O(n \log n)$ , sa méthode est basé sur le raisonnement par récurrence (Shamos, 1975).
- Green et Robin Sibson ont proposé en 1979 un algorithme de l'ordre de  $O(n^2)$  (Green et Sibson, 1978).
- L'algorithme de Steven Fortune (Fortune, 1986) a été démontré comme asymptotiquement optimal, sa complexité est de  $O(n \log n)$  en temps et de  $O(n)$  en espace (Berg et al., 2000; Austin, Online) . Il consiste en un balayage du plan de gauche à droite avec une ligne verticale, tout en considérant un front parabolique légèrement « en retard » par rapport à la droite de telle manière à ce que le diagramme situé à gauche est le diagramme final.

Afin d'afficher les liens entre les différentes régions créées par l'algorithme de Voronoï, le traçage d'un segment entre les différentes régions voisines est effectuée. La structure « triangulation de Delaunay » est alors obtenue. Cette structure est très utile en mécanique car c'est celle qui permet de mailler les objets de la manière la plus efficace, en minimisant les aires au carré des triangles (Damon et Vega, 2004). Le diagramme de Voronoï est donc le dual de la partition de Delaunay, il est très facile de passer d'une structure à une autre. Ces deux notions sont très souvent associées, elles représentent des graphes planaires, il est possible de les tracer sur une surface plane sans que leurs arcs ne se croisent. La figure (2.13) illustre la différence entre le diagramme de Voronoï et La triangulation de Delaunay :



**Figure 2.13** Différence entre Diagramme de Voronoï et Triangulation de Delaunay. Les traits en pointillés montrent le diagramme de Voronoï alors que les traits pleins montrent la Triangulation de Delaunay

Nous nous sommes intéressés aux diagrammes de Voronoï car ils permettent de créer des régions/cellules à partir d'un ensemble de données. Par approximation, nous pouvons dire que l'ensemble de données initiales lors des méthodes de classification non-supervisés présentées correspond au plan sur lequel est appliqué l'algorithme de Voronoï, alors que

les clusters obtenus dans les algorithmes de classification correspondent aux régions finales obtenues dans les diagrammes de Voronoï.

### 2.5 Conclusion

Le but de notre travail est de concevoir un système multimodal et multi-opérateurs pour l'aide aux déplacements, tout en allégeant les processus de calculs. Pour mettre en place notre stratégie, nous avons pensé à décomposer les réseaux des différentes compagnies en plusieurs sous-réseaux selon la congestion du trafic, ceci dans le but de cibler les sous-réseaux concernés par le traitement d'une requête.

La recherche bibliographique que nous avons effectuée nous a incitées à faire appel aux systèmes multi-agents du fait de leur grande adaptation avec les informations hétérogènes avec aspect très dynamique. Afin de minimiser l'espace de recherche des algorithmes de calculs d'itinéraires et optimiser les processus des traitements, nous avons pensé à les appliquer sur des sous-graphes et non pas la totalité du graphe. Nous avons donc décomposé les graphes des différentes compagnies en plusieurs sous-graphes. Notre choix s'est orienté vers la décomposition selon les diagrammes de Voronoï pour sa simplicité et son adaptation quant aux données dont nous disposons. En effet, nous avons juxtaposé notre problématique sur le modèle proposé par Voronoï : la totalité des points représentaient les stations des différentes compagnies dont nous choisissons un sous-ensemble pour appliquer l'algorithme de Voronoï.

Dans ce chapitre, nous avons procédé à l'étude de trois grandes voies. D'abord, nous nous sommes intéressés aux différentes représentations des réseaux de transport en mettant l'accent sur les réseaux des transports en commun. Puis, nous nous sommes intéressés aux systèmes multi-agents : leur but, caractéristiques et les différentes applications qui ont été implémentées en se basant sur les agents. Enfin, nous avons donné un bref aperçu sur quelques méthodes de clustering et de décomposition de réseaux. Ceci nous a permis de choisir les méthodes et techniques les mieux adaptés pour la mise en place de notre système, à savoir : l'autonomie des entreprises et la satisfaction des requêtes des voyageurs.

# Vers un système d'information multimodale

### 3.1 Introduction

La mise en place d'un système d'information multimodale implique la gestion de plusieurs sources de données. L'hétérogénéité des données rend la manipulation des outils et des algorithmes de recherche difficile. De plus, l'aspect distribué du problème nous a poussés à penser à des méthodes où chaque entreprise de transport garde son autonomie afin de protéger les valeurs économiques de chacune. Bien que l'hétérogénéité des données soit un véritable obstacle pour la mise en place de notre système, le principal objectif était d'alléger les processus de calculs en réduisant le nombre de nœuds invoqués lors de l'application des algorithmes de recherches d'itinéraire. En effet, la complexité de ces derniers est principalement axé sur le nombre de nœuds et le nombre d'arêtes du graphe. La réduction du nombre de nœuds invoqués permettrait ainsi d'alléger les processus de calculs.

Pour ce problème, nous avons opté pour la décomposition des réseaux des différentes compagnies en plusieurs régions selon la congestion du réseau. Cette décomposition est fictive, chaque entreprise garde son autonomie. Le graphe de chaque entreprise est décomposé en plusieurs régions. Le traitement d'une requête d'itinéraire ne concerne que les sous-graphes concernés par cette requête.

Le fonctionnement de notre système est décomposé en deux phases : d'abord une phase hors ligne puis une phase en ligne. La première phase concerne la décomposition du réseau global de toutes les compagnies de transport en plusieurs régions selon la densité et la congestion du trafic, cette phase permet de cibler seulement les sous-graphes des entreprises concernées par une requête et non la totalité de leur graphe. La deuxième phase permet de détecter les entreprises concernées par cette requête, décomposer la requête en plusieurs sous-requêtes, questionner les entreprises concernées puis collecter la réponse finale.

Les types de requêtes traités concernent les requêtes d'itinéraire et les requêtes concernant les informations touristiques telles que des informations relatives aux sites ou monuments ayant attiré l'attention du voyageur.

### 3.2 Complexité du problème

La mise en place d'un graphe multimodal consiste en la juxtaposition des réseaux des différentes compagnies de transport en un seul réseau. Ces graphes sont très complexes, du fait du nombre de stations de correspondances important. Généralement, un voyageur demande de l'aide pour un voyage d'une station de départ vers une station d'arrivée avec le retour vers la station de départ. De nombreux facteurs sont à prendre en considération pour le calcul d'un itinéraire tel que la faisabilité et le coût. Le coût peut être en termes de dépense, confort, nombre de correspondances ou en termes de temps. Le but de notre travail lors des traitements des requêtes d'itinéraire est de chercher les stations de correspondance entre la station de départ et la station d'arrivée émis par le voyageur, en passant par les différentes stations une et une seule fois. La notion de circuit hamiltonien doit être respectée. Afin de mesurer la complexité du problème des réseaux multimodaux, (Zidi, 2006) a effectué une analogie de ce problème avec le problème du voyageur de commerce. Cette analogie est présentée dans le tableau suivant :

Paramètres	Problème voyageur de commerce	Notre problème
Ensemble de nœuds	Les villes	Les nœuds de correspondances
Contrainte	Passage une et une seule fois par chaque ville	- Passage une seule fois par chaque nœud - Contrainte temporelles
Critère	Distance, temps, cout	Distance, temps, cout
Solution	Circuit hamiltonien	Circuit hamiltonien

**Tableau 3.1** Analogie entre le problème du voyageur de commerce et la problématique de la mise en place d'un système d'aide aux déplacements (Zidi, 2006)

D'après cette analogie, il est clair que la mise en place d'un système d'aide aux déplacements a plus de difficultés que celui du voyageur de commerce. La complexité du problème de voyageur de commerce n'a pas facilité son étude et si on analyse tous les parcours possibles, pour  $n$  villes, le nombre de possibilités est de  $(n-1)!$ . Pour 6 villes nous avons 120 possibilités, pour 10 villes, plus de 362 000 et pour 60 villes plus de  $10^{80}$ . Ceci peut expliquer pourquoi le problème n'a pas été étudié sérieusement avant l'arrivée des ordinateurs dans les universités mais, depuis 1954, de nombreux chercheurs l'ont traité (Zidi, 2006).

La complexité du problème d'aide au déplacement dans un réseau de transport multimodal est équivalente à celle du voyageur de commerce multiple du fait de la présence de plusieurs stations de départ et de plusieurs stations d'arrivée. De plus, nous avons d'autres problèmes à résoudre tels que les demandes multiples et les traitements en temps réel. Ces problèmes justifient le fait que la problématique étudiée dans cette thèse soit classé NP-difficile (Zidi, 2006).

La modélisation d'un réseau de transport en commun représente à elle seule un axe de recherche (section (2.2)). La difficulté réside en la notion de variabilité entre deux nœuds (stations). En effet, la durée d'acheminement d'un véhicule d'une station A vers une station B dépend des horaires de passages et de l'état du trafic. Les horaires de pointe sont révélatrice d'un trafic très dense, le temps du trajet est par conséquent plus important. Pour notre problème, nous avons opté pour une représentation « expanded-time » (section (2.2.5.1.A)). Chaque événement est représenté par un nœud dans le graphe. Les arrivées et les départs des différents moyens de transport aux stations sont représentés par des nœuds dans le graphe. De ce fait, il existe deux types de nœuds, des nœuds physiques qui représentent les positions géographiques des stations et des nœuds virtuels pour représenter les événements. Le nombre d'arêtes reliant les différents nœuds est tout aussi conséquent car les nœuds virtuels sont reliées entre eux afin d'assurer la continuité d'un voyage et de respecter la loi FIFO (Pajor, 2005). Afin de mieux exposer notre problématique : Soit une station A dont le trafic est estimé à une arrivée toutes les 6 minutes, nous pouvons calculer :

- Pour Une heure : La modélisation du réseau nécessite 21 nœuds – un nœud physique et 20 nœuds virtuels (10 arrivées et 10 départs).
- Pour une journée de 12 heures : la modélisation du réseau nécessite 241 nœuds – un nœud physique et 240 nœuds virtuels.

Le nombre d'arêtes est important, les nœuds virtuels sont toujours reliés entre eux, on parle alors d'arêtes intra-nœuds. Il existe donc au minimum autant d'arêtes que de nœuds. La représentation d'une seule station dont le trafic est estimé à une fréquence de 6 minutes pour chaque arrivée entraîne un sous graphe avoisinant les 240 nœuds et avec au minimum autant d'arêtes. Les arêtes peuvent être de type inter-stations afin de valider la continuité du voyage.

Ainsi, la taille des graphes lors des traitements des systèmes d'information multimodale représente une réelle difficulté pour la modélisation et l'application des différents algorithmes de recherches. Une seule station est souvent représentée par des centaines de nœuds. La modélisation de tout le réseau urbain peut devenir rapidement un défi important surtout si les objectifs sont d'atteindre un large périmètre géographique.

### 3.3 Limites des algorithmes de la théorie des graphes

L'algorithme de Dijkstra (Dijkstra, 1959) fait partie de la liste des algorithmes de recherches d'itinéraire, beaucoup de travaux et d'algorithmes s'en sont inspirés pour apporter des améliorations à l'algorithme de base. Néanmoins, le principe de fonctionnement reste le même et se base sur l'étiquetage des sommets. Le nombre de sommets dans un graphe a une influence directe sur le temps d'exécution et la consommation en mémoire lors des recherches d'itinéraire. En effet, la complexité des algorithmes de recherches dépend essentiellement du nombre des nœuds dans les graphes. L'organigramme suivant donne un aperçu sur le fonctionnement de l'algorithme de Dijkstra et explicite clairement que le nombre d'itérations dépend des nombres des nœuds dans le graphe.

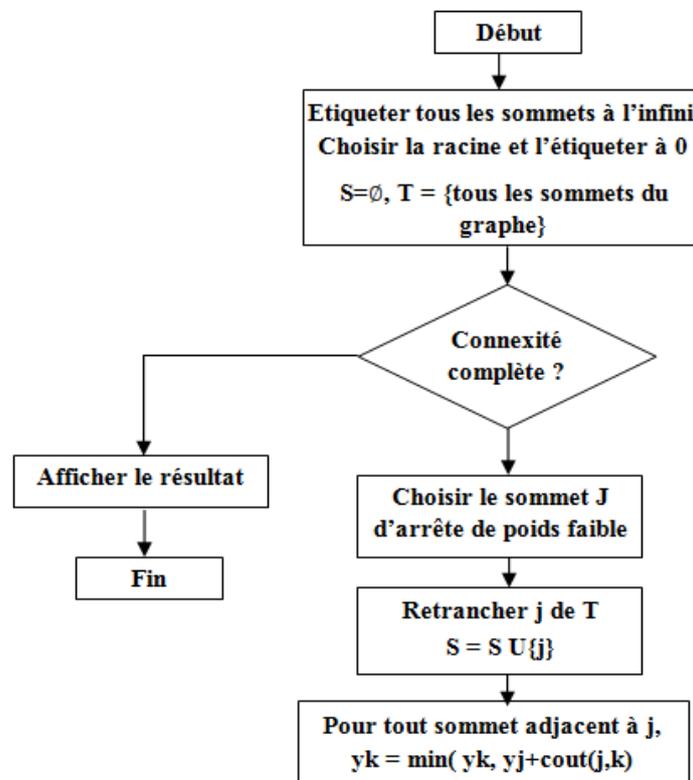


Figure 3.1 Organigramme décrivant le fonctionnement de l'algorithme de Dijkstra

Le tableau (3.2) présente les différentes complexités de quelques algorithmes de recherches d'itinéraires connus dans la littérature : Dijkstra (Dijkstra, 1959), Floyd–Warshall (Floyd, 1962) et Bellman–Ford (Bellman, 1958). S représente le nombre de sommets, A représente le nombre d'arêtes. Nous pouvons remarquer que le nombre de nœuds et d'arêtes ont une influence directe sur la complexité des algorithmes de recherche.

Algorithme	Complexité
Dijkstra	$O( A  +  S \log S )$
Floyd–Warshall	$O( S ^3)$
Bellman–Ford	$O( S   A )$

Tableau 3.2 Complexité des algorithmes de recherche d'itinéraire

Enfin, la figure (3.2) présente les temps d'exécution de l'algorithme de recherche Dijkstra en variant le nombre de nœuds dans un graphe. Nous remarquons facilement que le temps d'exécution augmente tant que le nombre de nœuds accroît. Il faut donc penser à minimiser le nombre de nœuds d'un graphe afin d'optimiser les processus de calculs.

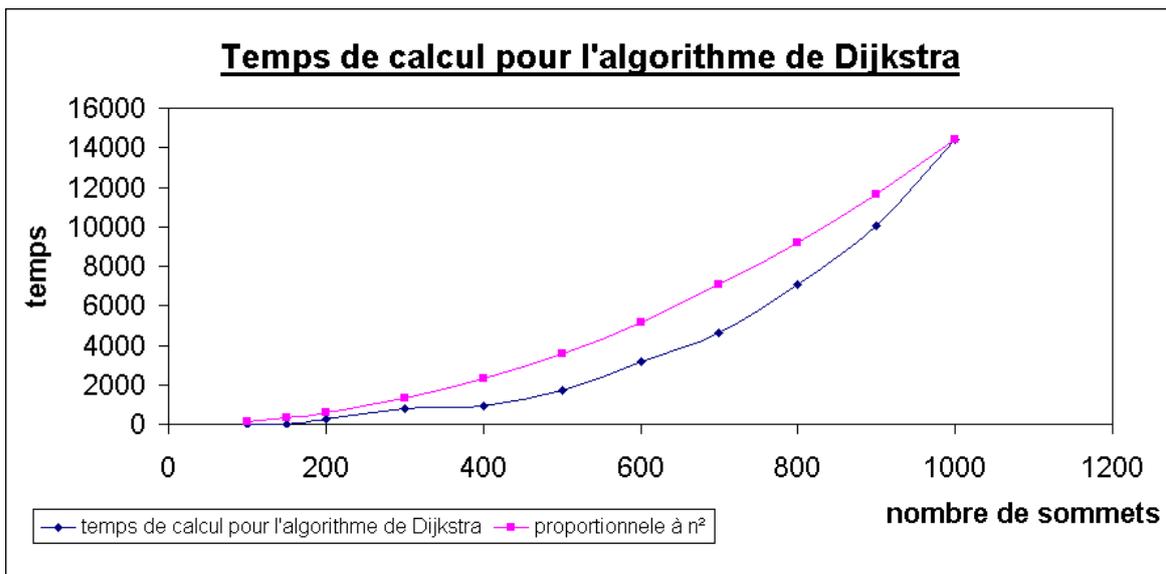


Figure 3.2 Temps de calcul de l'algorithme de Dijkstra selon le nombre de sommets d'un graphe (ortega et Dumoulin, 2001)

La modélisation d'un réseau de transport en commun est impossible par un graphe statique où les coûts des arcs sont fixés. Les horaires de passages changent selon les périodes de l'année, les jours et les horaires. Cette notion de temps, ou plus spécialement d'instant de passage dans les stations ou arrêts rajoute une difficulté dans la modélisation des réseaux de transport en commun. Si des modèles ont été proposés pour remédier à ce problème – Comme celui que nous utilisons « expanded-time » – leurs caractéristiques compliquent le problème. En effet, l'algorithme de Dijkstra est difficilement applicable sur les réseaux de transport à cause de leurs densités.

### 3.4 Vers une architecture basée sur les diagrammes de Voronoï

Le système proposé a une double vocation (Bendaoud et Bouamrane, 2014b):

- Répondre aux attentes des voyageurs et leur éviter d'effectuer des recherches fastidieuses en leur offrant un seul portail pour planifier leurs voyages.
- Alléger les processus de calculs en respectant les différentes contraintes relatives à la confidentialité de l'information.

Afin de répondre aux requêtes des voyageurs et produire l'information multimodale, le système d'information multimodale pour l'aide à la mobilité doit accéder aux systèmes d'information des différentes compagnies qui le composent afin d'élaborer la réponse finale. Il devient alors le médiateur entre les différents systèmes d'information, il doit trouver les bonnes sources dans un environnement distribué, gérer l'hétérogénéité des informations et proposer les solutions aux voyageurs de manière transparente.

Comme indiqué dans la rubrique précédente, le traitement des requêtes d'itinéraires dépend directement de la taille des graphes. Le nombre de nœuds a une influence directe sur la consommation en mémoire et sur le temps de calcul. Nous avons donc pensé à décomposer le réseau global d'une manière fictive dans le but de cibler des sous-réseaux qui peuvent être responsable d'une requête. Ceci permettrait de traiter et d'appliquer les algorithmes de recherches sur des sous-réseaux et non pas sur le réseau en sa totalité.

Afin de décomposer le réseau en plusieurs sous-réseaux, nous avons opté pour la décomposition de Voronoï. Les diagrammes de Voronoï sont des structures de données fondamentales qui ont été établies dans le domaine de la géométrie algorithmique, elles consistent en la décomposition d'un espace en plusieurs régions. Pour cela, nous sélectionnons des points initiaux, les points qui forment la région sont les plus proches à un point choisi au préalable que tous les autres points (choisis au préalable aussi) (section (2.4.5)). Les points choisis au préalable peuvent être considérés comme des points d'initialisation pour l'application des diagrammes de Voronoï. La notion de distance entre les points dépend du contexte d'application.

La juxtaposition du diagramme de Voronoï sur notre modèle se présente comme suit : Soit  $S$  l'ensemble de toutes les stations de toutes les compagnies de transport  $S = \{S_1, S_2 \dots S_n\}$ . Soit  $S'' = \{S_1, S_2 \dots S_m\}$  un sous-ensemble de  $S$ , ( $S'' \subset S$  et  $m < n$ ) qui représente des stations que nous choisissons selon leur densité (forte densité, moyenne densité ou faible densité). Une cellule de Voronoï d'une station  $S_1$  ( $S_1 \in S''$ ) correspond à l'ensemble des stations de  $S - S''$  les plus proches à  $S_1$  qu'à tous les autres stations de  $S''$ . Le nombre de cellules (zones) dépend du nombre d'éléments de  $S''$ . Afin de calculer les distances entre les différentes stations, nous avons calculé les distances orthodromiques (Gade, 2010). Par analogie, nous pouvons dresser le tableau (3.3) :

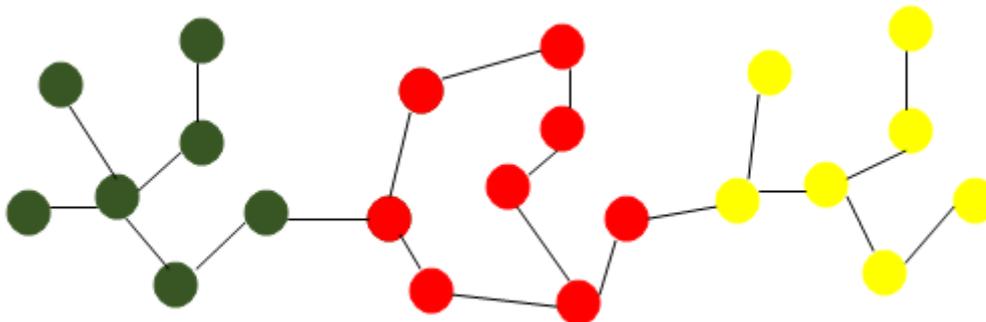
Voronoi version originale	Application de Voronoï pour notre problématique
Les points de l'espace euclidien	L'ensemble des stations de toutes les compagnies
Les points choisis au préalable	Le sous-ensemble des stations choisis selon leur densité
La distance euclidienne	Distance orthodromique
En sortie : des régions bien définies	En sortie : Des sous-graphes

**Tableau 3.3** Analogie des diagrammes de Voronoï avec notre problématique

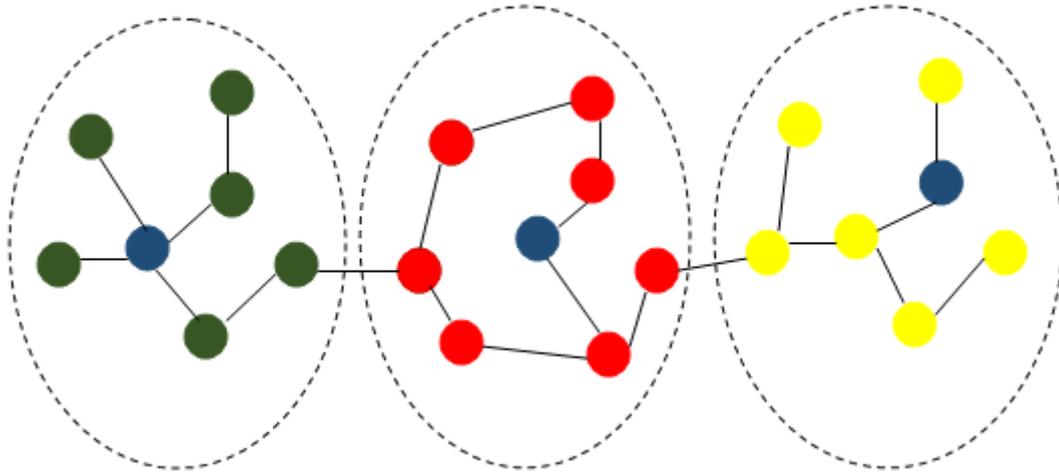
Les figures suivantes (figures (3.3), (3.4) et (3.5)) montrent un exemple de l'application des algorithmes de Voronoï sur notre problématique. Soient trois compagnies de transports différentes :

- La compagnie rouge : dont les nœuds sont de couleur rouge.
- La compagnie verte : dont les nœuds sont de couleur verte.
- La compagnie jaune : dont les nœuds sont de couleur jaune.

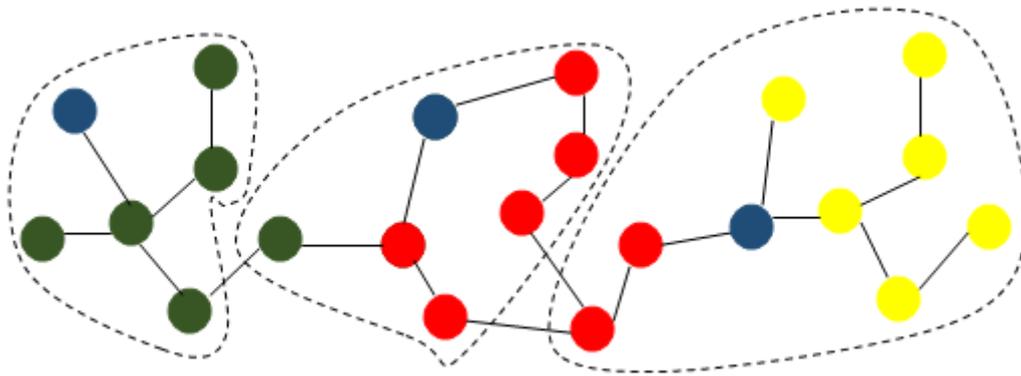
L'ensemble des nœuds de toutes les stations forment le réseau global de notre système. Il peut être perçu comme étant l'espace euclidien de la version originale des diagrammes de Voronoï. Le choix des stations d'initialisation dans les diagrammes de Voronoï est d'une importance majeure, il a une influence directe sur les régions de Voronoï obtenus. Les deux figures (figures (3.4) et (3.5)) montrent les régions de Voronoï obtenus lors de différents choix des stations d'initialisations. Les nœuds en bleu représentent les stations d'initialisation choisis au préalable pour l'obtention des régions de Voronoï.



**Figure 3.3** Présentation d'un réseau de trois compagnies de transport



**Figure 3.4** Cas 1 : Décomposition du réseau en régions selon une première initialisation



**Figure 3.5** Cas 2 : Décomposition du réseau en régions selon une deuxième initialisation

Si le choix des stations d'initialisation a une influence directe sur les régions obtenues, leur nombre ne demeure pas moins important. En effet, le nombre des stations d'initialisation définit le nombre de régions obtenues. Leur choix est donc crucial. Les sous-réseaux obtenus permettent de réduire le nombre de nœuds et la taille du graphe dans lequel nous appliquons les algorithmes de recherche. Le réseau d'une même entreprise de transport peut appartenir à plusieurs régions. Cela nous permet d'appliquer les algorithmes de recherches sur ces sous-réseaux seulement et non pas la totalité du graphe.

### 3.5 Architecture du système proposé

Un système d'information multimodale doit à la fois satisfaire les requêtes des voyageurs en respectant les délais de réponses, et en réduisant le cout total de l'information (Zgaya, 2007). Si la solution de base consiste en la centralisation des données dans une seule base de données et d'appliquer les algorithmes de recherche. Cette dernière peut devenir impossible dans le cas de la gestion d'un grand réseau de transport urbain ou lors de la gestion de plusieurs requêtes voyageurs simultanément. Nous proposons donc de décomposer les

requêtes en plusieurs sous-requêtes et de questionner les compagnies de transport concernés par chaque sous-requête. La fusion des réponses obtenues permettent d'avoir l'itinéraire final du voyageur. L'aspect très distribué de notre système nous a amené à opter pour un système multi-agent afin de mieux gérer l'hétérogénéité des données et de répondre au mieux aux attentes des voyageurs (Ferber, 1995).

Les systèmes multi-agents consistent à diviser un processus entre plusieurs agents. Au lieu d'avoir un seul programme qui gère la totalité du système, on divise le problème en tâches, chaque agent aura pour mission de résoudre un sous-problème. La solution finale est obtenue par l'interaction entre les différents agents (Bendaoud et Bouamrane, 2013b).

Notre SIM est organisé autour de cinq types d'agents (figure (3.6)): les agents interfaces (AI) les agents identificateurs (AId), l'agent annuaire (AA), les agents collecteurs (AC) et les agents de fusion (AF).

- Les agents AI jouent le rôle d'interface entre :
  - o Soit : notre système et les voyageurs..
  - o Soit : notre système et les compagnies souhaitant en faire partie.
- les agents (AId) identifient les requêtes d'itinéraires des requêtes relatives aux informations touristiques et demandent aux (AA) le domaine de recherche correspondant à cette requête.
- Les agents annuaires (AA) ont une vision générale sur les stations et les réseaux de toutes les compagnies de transport, ils permettent d'inscrire les nouvelles compagnies de transports qui souhaitent adhérer au système, d'effectuer la décomposition fictive du réseau selon le diagramme de Voronoï et de fournir les domaines de recherche de l'information en sélectionnant les compagnies et les pôles d'échange concernés.
- Les agents collecteurs (AC) sont des agents mobiles qui se déplacent à travers le domaine de recherche pour recueillir les informations nécessaires à partir de chaque compagnie concernée par le traitement de la requête.
- Les agents de fusion (AF) effectuent la composition des réponses en fonction des profils des utilisateurs.

La figure (3.6) décrit l'architecture de notre système (Bendaoud et Bouamrane, 2014a).

Le fonctionnement de notre système est décomposé en deux phases, d'abord une phase hors ligne puis une phase en ligne. La première phase consiste à définir les différentes régions en appliquant l'adaptation des diagrammes de Voronoï sur notre exemple, cette phase est interne au système, il n'existe aucune interaction avec le voyageur. La communication se fait seulement entre le système et les compagnies de transport faisant partie ou voulant intégrer le système. Ces communications visent à mettre à jour le réseau et les différentes régions. La deuxième phase consiste en la gestion des requêtes des voyageurs, il existe donc une interaction entre le système et les voyageurs. Les requêtes des voyageurs peuvent être des requêtes d'itinéraires ou des requêtes pour des informations touristiques.

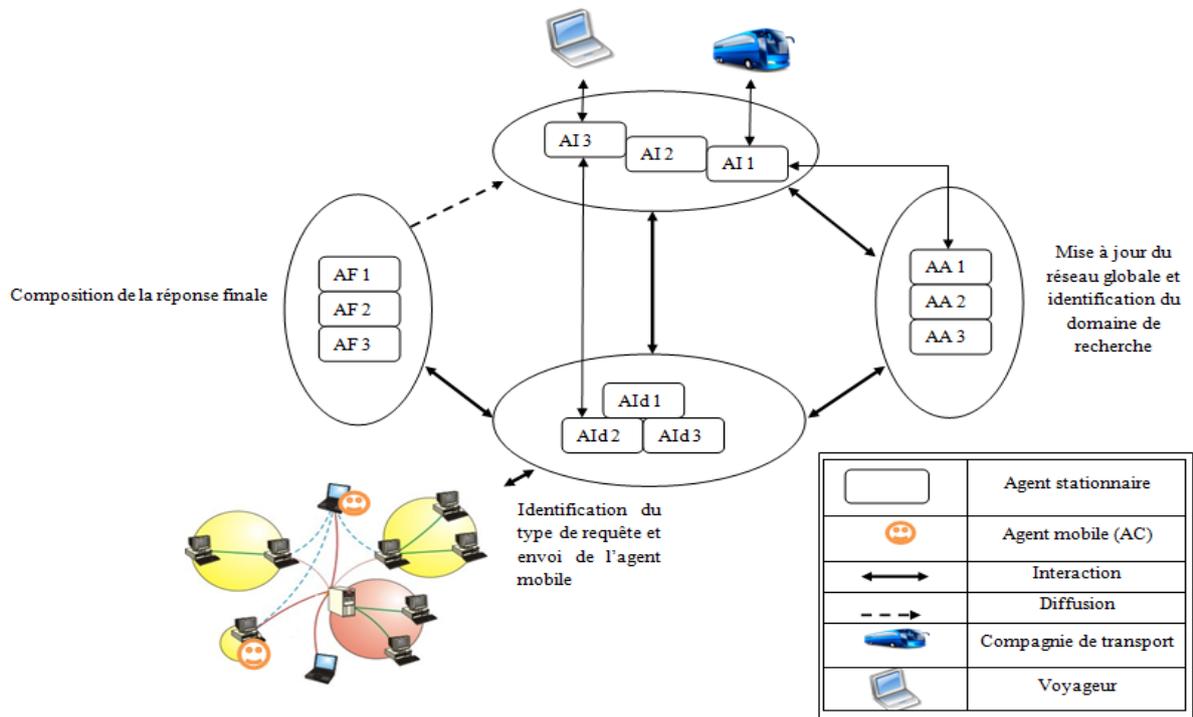


Figure 3.6 Architecture du système proposé

Le fonctionnement global de notre système se définit par les séquences présentées dans le diagramme présenté à la figure (3.7) :

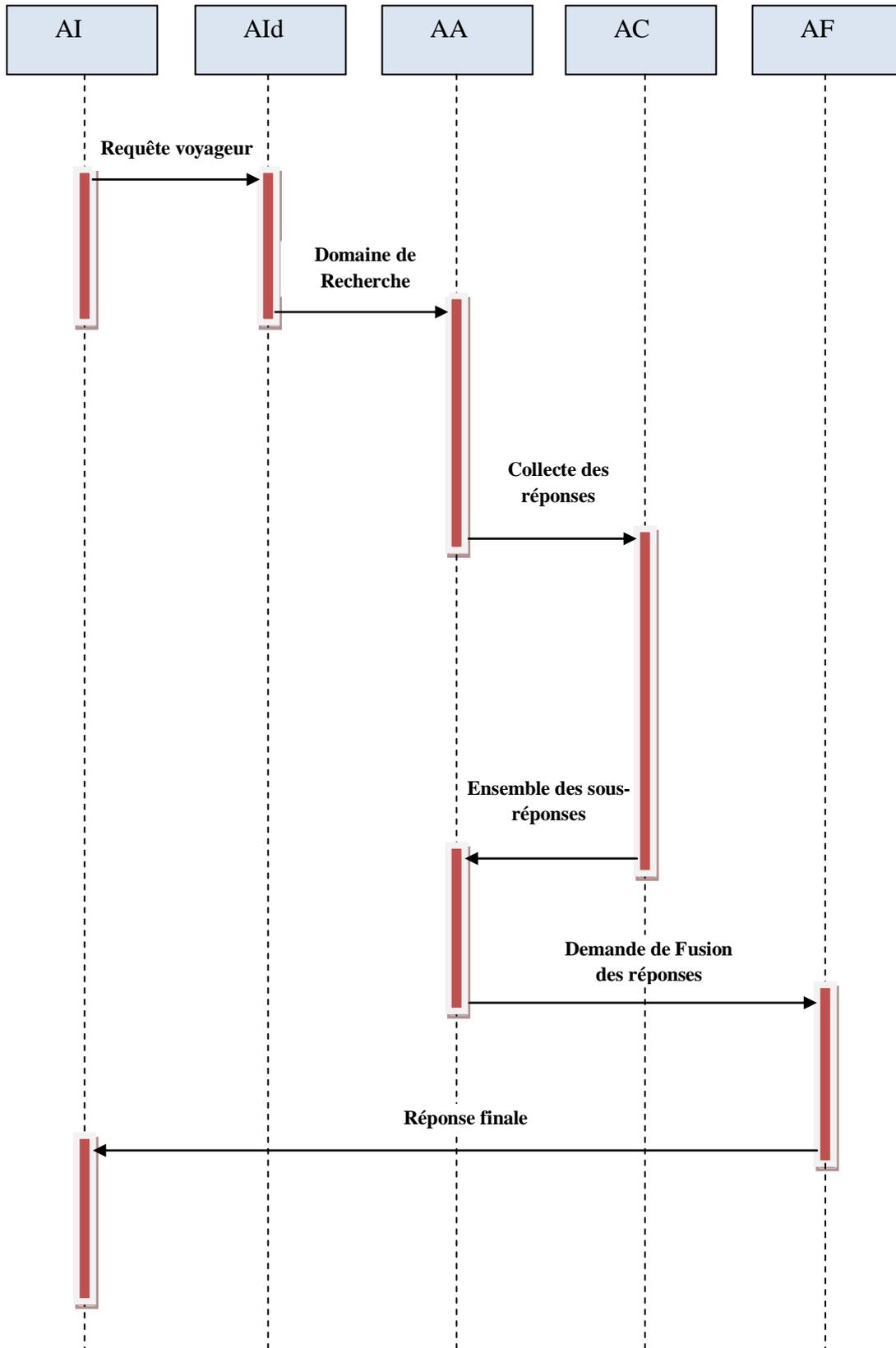


Figure 3.7 Comportement global des agents du système lors des requêtes d'itinéraires

### 3.5.1 Agent Interface

Gere deux situations différentes :

- Soit, il reçoit une requête d'une compagnie de transport qui veut intégrer le système, il la transmet à l'AA.
- Soit, il reçoit une requête d'un utilisateur afin d'obtenir une information multimodale. Dans le cas où l'utilisateur qui émet la requête est identifié, son profil est extrait pour que les réponses soient traitées et présentées selon ses besoins. Dans le cas contraire, on le considère comme étant un profil standard et la requête est transmise à l'AIId. Dès qu'il reçoit une réponse, il identifie le support de diffusion et transmet la réponse au voyageur ayant émis la requête.

Le diagramme de la figure (3.8) présente le comportement de l'agent interface :

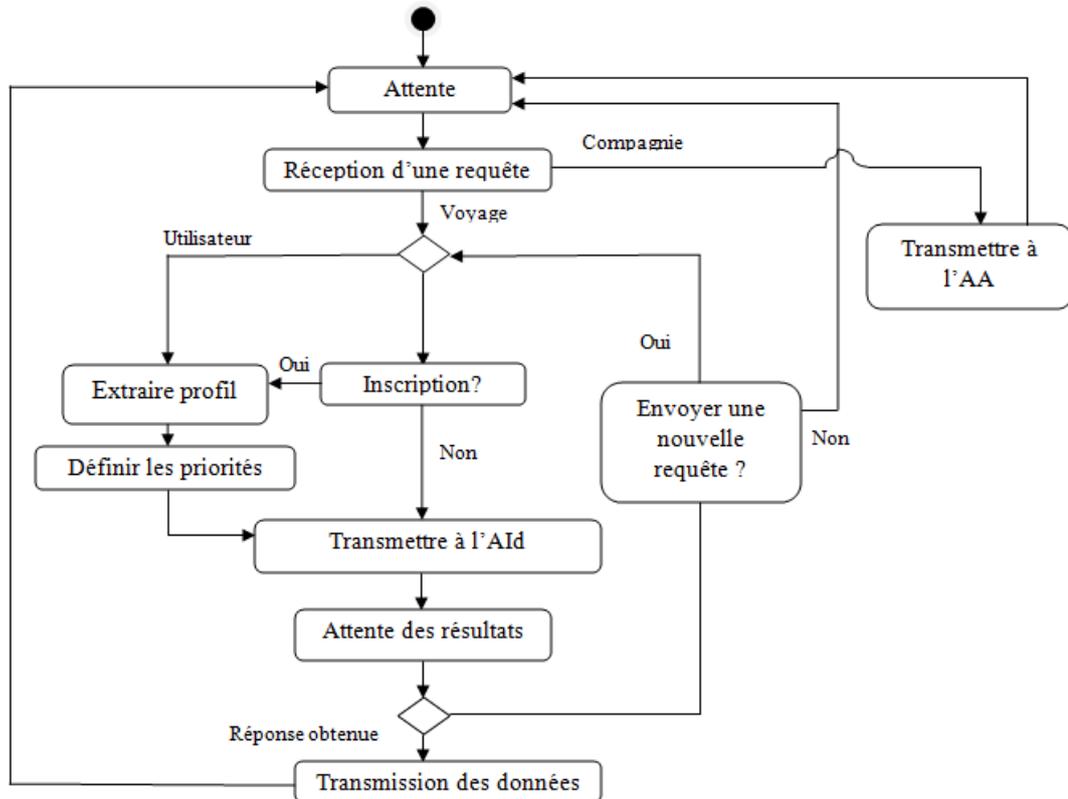


Figure 3.8 Diagramme d'activité de l'agent Interface

L'agent interface est défini comme suit :

<b>Identité</b>	- Communauté : Transport - Groupe : Système
<b>Type d'agent</b>	Stationnaire
<b>Connaissance</b>	- Les voyageurs inscrits dans le système
<b>Etat</b>	Libre ou occupé

Tableau 3.4 Définition de l'agent interface

### 3.5.2 Agent Annuaire

Il présente deux situations de fonctionnement :

1. Il reçoit une requête d'inscription d'une nouvelle compagnie à partir de l'AI, un ensemble de données sur les lignes, les stations d'échanges ainsi que son adresse réseau sont fournies. Afin de mettre les zones du réseau à jour, un nouveau découpage du réseau est lancé par le biais de l'algorithme de décomposition de Voronoï.
2. Il reçoit une demande de l'AI concernant le domaine de la recherche, cette requête peut être de deux types :
  - a. Elle a, comme argument, le nom d'un monument, place ou d'un bâtiment. l'AA localise la zone concernée par ce point et localise ses stations les plus proches par le calcul des distances orthodromiques qui sont les distances les plus courtes entre deux points d'une sphère. Dans notre cas, nous considérons la terre comme une sphère parfaite pour l'utilisation de la formule suivante (Gade, 2010) :

$$g(\delta, \lambda, \delta', \lambda') = 2R \arcsin \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\delta' - \delta}{2} \right) + \cos \delta \cdot \cos \delta' \cdot \sin^2 \left( \frac{\lambda' - \lambda}{2} \right)}$$

R est le rayon de la sphère (Rayon de la Terre  $\approx 6367000$  mètres).  $\delta$  est la latitude (en radians).  $\lambda$  est la longitude (en radians). Le domaine de recherche est défini par l'ensemble des compagnies responsables des stations voisines.

- b. elle a, comme argument, la station de départ et la station d'arrivée. AA sélectionne les zones de départ et d'arrivée et, éventuellement, les zones intermédiaires et toutes les compagnies impliquées dans cette requête. l'algorithme d'identification du domaine de recherche est présenté dans la (section (3.8)).

Le diagramme de la figure (3.9) présente le comportement de l'agent annuaire :

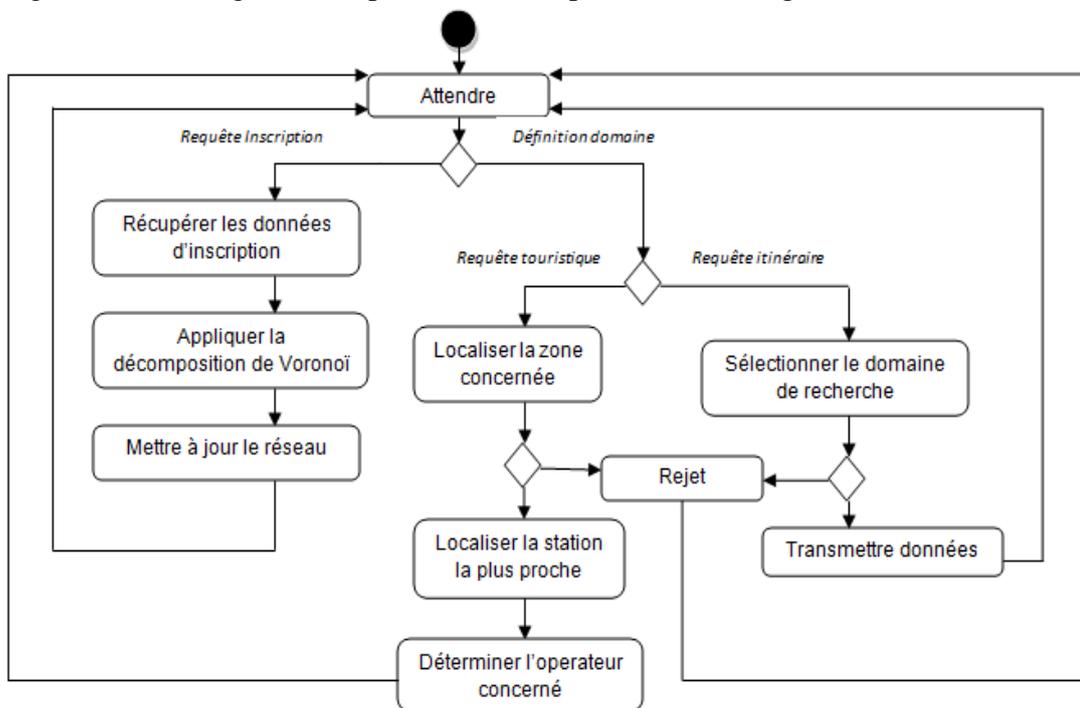


Figure 3.9 Diagramme d'activité de l'agent annuaire

L'agent annuaire est défini comme suit :

<b>Identité</b>	- Communauté : Transport - Groupe : Système
<b>Type d'agent</b>	Stationnaire
<b>Connaissance</b>	- Les modes de transport - Les compagnies de transport - L'ensemble des nœuds de toutes les compagnies - Les différentes régions de Voronoï - Les stations d'échange
<b>Etat</b>	Libre ou occupé

Tableau 3.5 Définition de l'agent annuaire

### 3.5.3 Agent Identificateur

Il reçoit une requête de l'AI, cette requête peut être de deux types : soit une requête itinéraire soit une requête sur des informations touristiques. Si c'est une requête itinéraire, il détermine la station de départ et la station d'arrivée et demande à l'AA de déterminer le domaine de recherche. Si c'est une requête relative à une information touristique, le nom du monument ou du building est extrait et une requête pour déterminer le domaine de recherche est envoyée à l'AA. Si la demande aboutit, l'AC est lancé afin de récupérer les informations requises à partir des différentes compagnies concernées. Une fois les résultats obtenus, il les transmet à l'agent fusion. La figure (3.10) présente le comportement de l'AId.

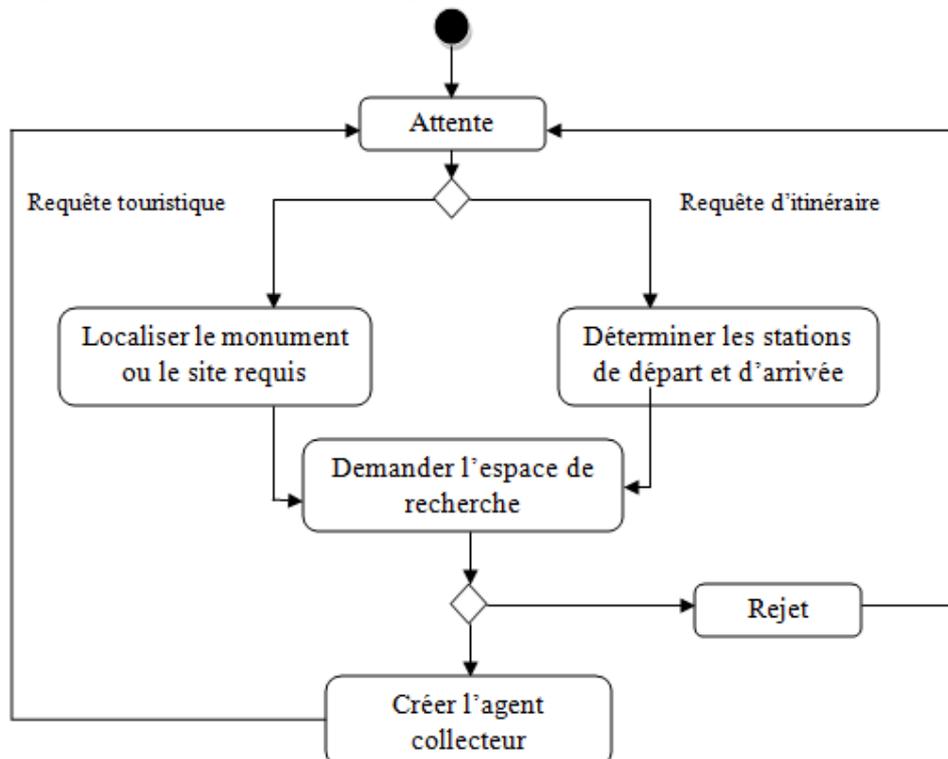


Figure 3.10 Diagramme d'activité de l'agent identificateur

L'agent identificateur est défini comme suit :

<b>Identité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Communauté : Transport</li> <li>- Groupe : Système</li> </ul>
<b>Type d'agent</b>	Stationnaire
<b>Connaissance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les modes de transport</li> <li>- Les compagnies de transport</li> <li>- Les différentes régions de Voronoï</li> <li>- Les types de requêtes</li> </ul>
<b>Etat</b>	Libre ou occupé

Tableau 3.6 Définition de l'agent identificateur

### 3.5.4 Agent Collecteur

Il s'agit d'un agent mobile qui a la capacité de se déplacer à travers le réseau pour récupérer les informations nécessaires à partir de chaque nœud. Dans notre cas, le nœud représente un système d'information d'une compagnie faisant partie de notre système. L'AC dispose de l'adresse réseau et des modes de communication de chaque compagnie. Il récupère la sous-réponse qui a été demandée à chaque nœud (compagnie). Une fois que tous les nœuds sont visités, l'AC retourne vers le nœud hôte et communique les informations collectées pour l'agent de fusion. La figure (3.11) représente le comportement de l'AC.

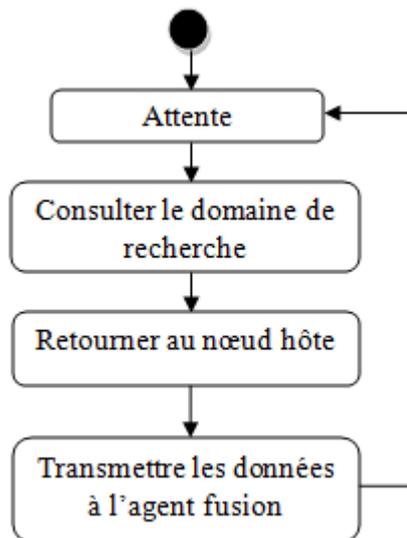


Figure 3.11 Diagramme d'activité de l'agent collecteur

L'agent collecteur est défini comme suit :

<b>Identité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Communauté : Transport</li> <li>- Groupe : Notre système et systèmes des différentes compagnies</li> </ul>
<b>Type d'agent</b>	Mobile
<b>Connaissance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les modes de transport</li> <li>- Les compagnies de transport</li> <li>- L'adresse réseau des différentes compagnies</li> </ul>
<b>Etat</b>	Libre ou occupé

Tableau 3.7 Définition de l'agent collecteur

### 3.5.5 Agent Fusion

Cet agent est responsable de la fusion de l'ensemble des réponses collectées par l'AC, si la requête concerne une information touristique, la réponse est statique, elle est la même pour tous les profils. Si la requête concerne les itinéraires, la réponse peut varier en fonction du profil du voyageur. Afin de mieux répondre aux attentes des voyageurs, nous avons considéré deux critères de sélection que l'utilisateur spécifie lors de l'enregistrement : l'âge et les préférences.

La figure (3.12) représente le diagramme d'activité de FA.

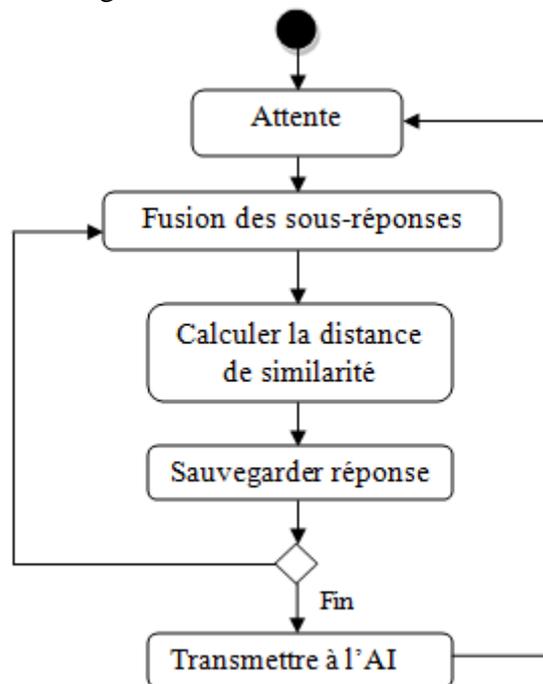


Figure 3.12 Diagramme d'activité de l'agent fusion

L'agent fusion est défini comme suit :

<b>Identité</b>	- Communauté : Transport - Groupe : Système
<b>Type d'agent</b>	Stationnaire
<b>Connaissance</b>	- Stations de correspondances
<b>Etat</b>	Libre ou occupé

Tableau 3.8 Définition de l'agent fusion

### 3.6 Les bases de données

Notre système gère à la fois les informations fournies par les compagnies des transports et les informations fournies par les voyageurs. Une compagnie de transport doit fournir toutes les données relatives aux services proposés, les nœuds qui représentent ses stations ainsi que les liens entre les différentes stations. D'autre part, les utilisateurs qui souhaitent intégrer le système doivent répondre à un questionnaire lors de l'inscription. Ces informations permettent d'extraire le profil du voyageur lors de l'émission d'une requête. Le fonctionnement du système nécessite donc l'existence de deux bases de données :

#### 3.6.1 La base de données compagnies

Chaque compagnie de transport qui souhaite intégrer le système d'information multimodale doit obligatoirement s'inscrire dans le système. La compagnie de transport doit définir les informations qu'elle peut fournir, le secteur sur lequel elle opère et l'ensemble des stations gérées. De plus, une compagnie de transport doit fournir l'adresse de ses serveurs et leur disponibilité ainsi que tout accès permettant le bon fonctionnement du système. La compagnie de transport doit fournir aussi toutes les informations concernant ses bases de données locales pour la bonne gestion des requêtes concernant les informations touristiques.

#### 3.6.2 La base de données voyageurs

Chaque voyageur qui souhaite faire appel au système d'information multimodale pour l'aider dans ses déplacements a la possibilité de s'inscrire afin de fournir quelques informations relatives à ses préférences. Ces informations peuvent servir à personnaliser les résultats pour le voyageur.

D'autres techniques ont été proposées afin d'optimiser la gestion des requêtes mais qui n'ont pas fait l'objet d'une présentation dans cette thèse. Ces techniques consistent en la création de bases de données orientées archivage pour éviter les redondances. Ces bases de données se basent sur des algorithmes d'évaluation et de classification des données selon leur stabilité. En effet, les données sont classées selon leur degré de stabilité afin d'éviter la recherche redondante des mêmes données non encore modifiées (Zgaya, 2007). Dans ce sens, (Khaled et al., 2005) ont effectué des recherches afin de classer l'information selon son degré

de stabilité, elle peut donc être statique, dynamique, événementielle, localisée, non-localisée, générale ou personnalisée.

L'organisation de notre système qui intègre les bases de données locales est décrite dans la figure (3.13) :

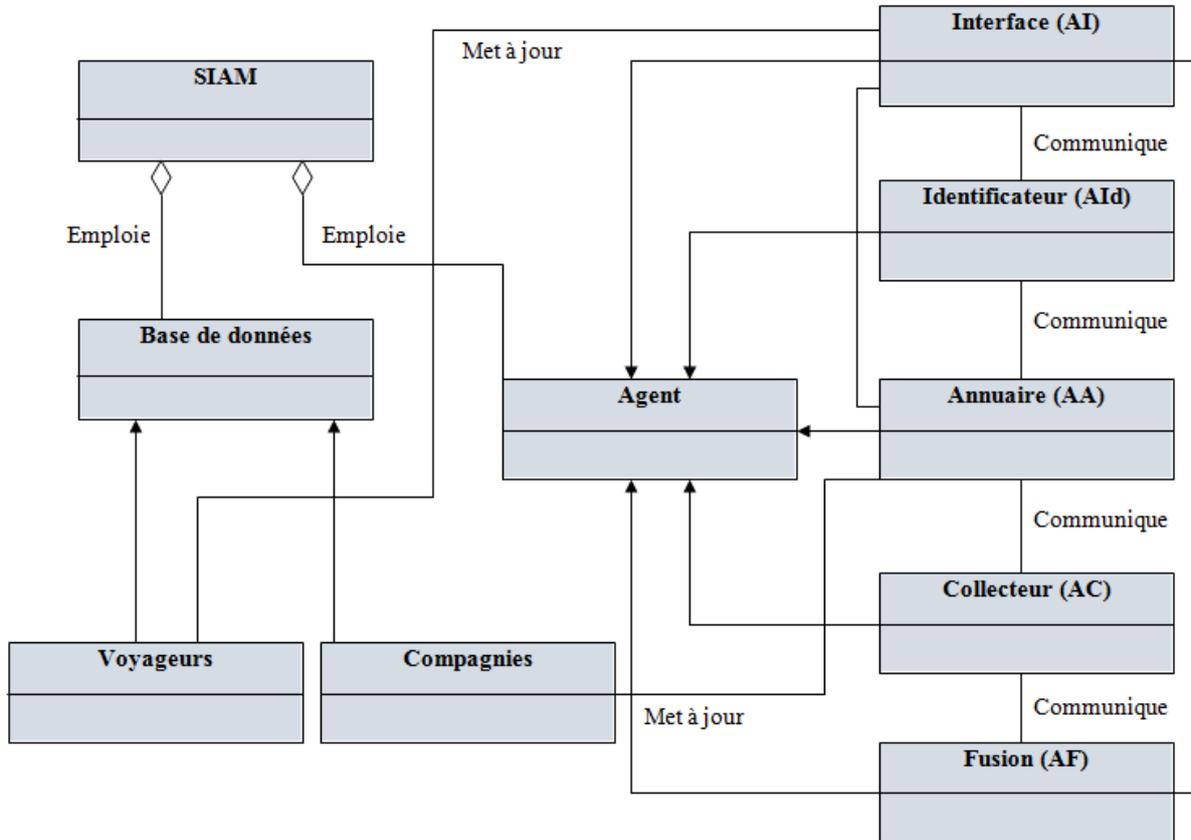


Figure 3.13 Organisation de notre système

### 3.7 Identification du domaine de recherche

Cet algorithme est utilisé par l'AA afin de déterminer le domaine de recherche dans le traitement d'une requête d'itinéraire. Afin de mieux présenter l'algorithme : soit l'exemple des trois compagnies de transports en commun présenté dans la section (3.4).

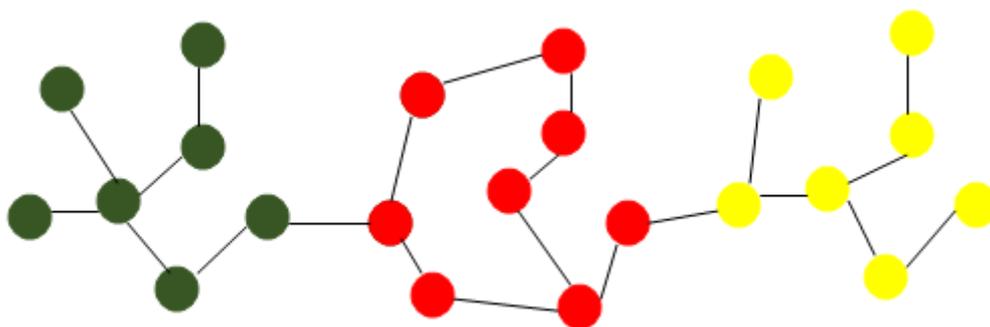
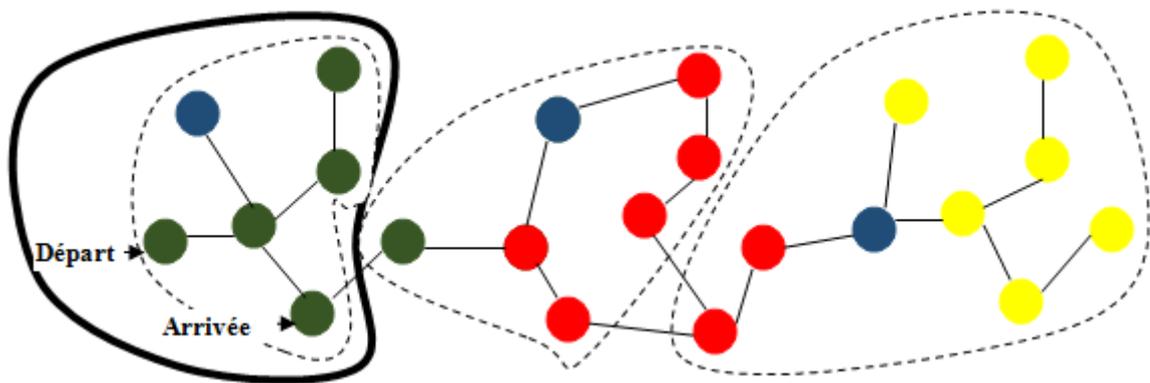


Figure 3.14 Réseau de trois compagnies de transport

Après la décomposition du réseau selon les diagrammes de Voronoï, plusieurs zones sont identifiées. Dans les figures suivantes (figures (3.15), (3.16), (3.17) et (3.18)): les traits en pointillé définissent les régions (zones) obtenues. Les traits en gras définissent les domaines de recherche lors des traitements de requêtes selon différents cas.

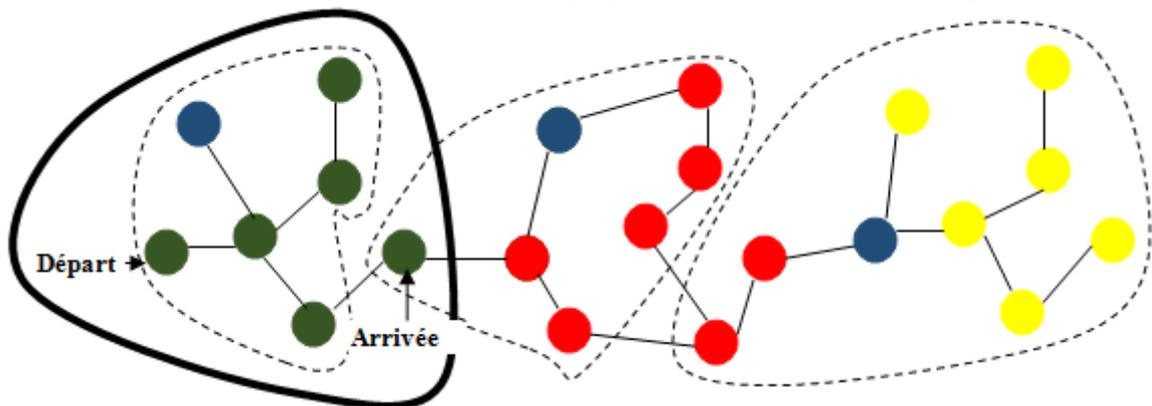
L'identification du domaine de recherche consiste à déterminer les zones et les compagnies responsables des stations de départ et d'arrivée d'abord, puis de déterminer le domaine de la recherche en fonction de quatre cas :

- La zone de départ et la zone d'arrivée sont identiques et les stations de départ et d'arrivée appartiennent à la même compagnie : le domaine de recherche est défini par le sous-réseau de cette compagnie dans cette zone (figure (3.15)).



**Figure 3.15** Domaine de recherche- La zone de départ et la zone d'arrivée sont identiques et les stations de départ et d'arrivée appartiennent à la même compagnie

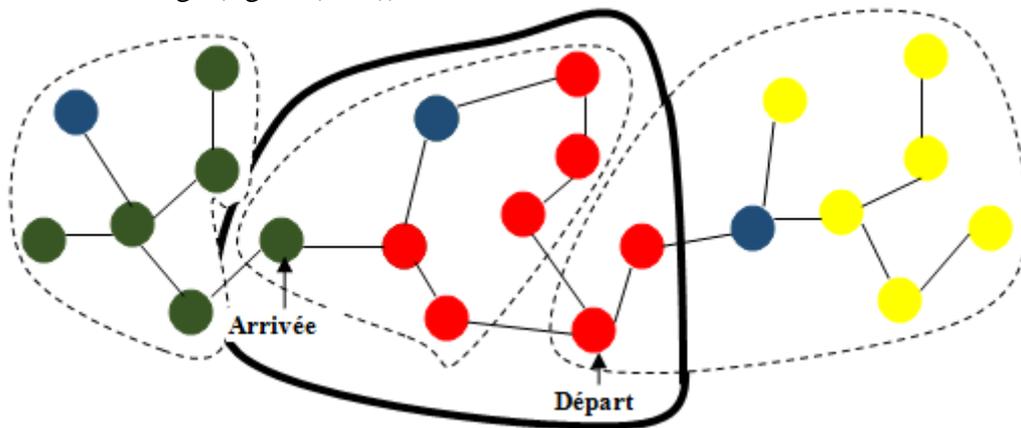
- La zone de départ et la zone d'arrivée sont différentes et les stations de départ et d'arrivée appartiennent à la même compagnie : le domaine de recherche est défini par l'union des deux sous-réseaux de cette compagnie dans ces deux zones (figure (3.16)).



**Figure 3.16** Domaine de recherche - La zone de départ et la zone d'arrivée sont différentes et les stations de départ et d'arrivée appartiennent à la même compagnie

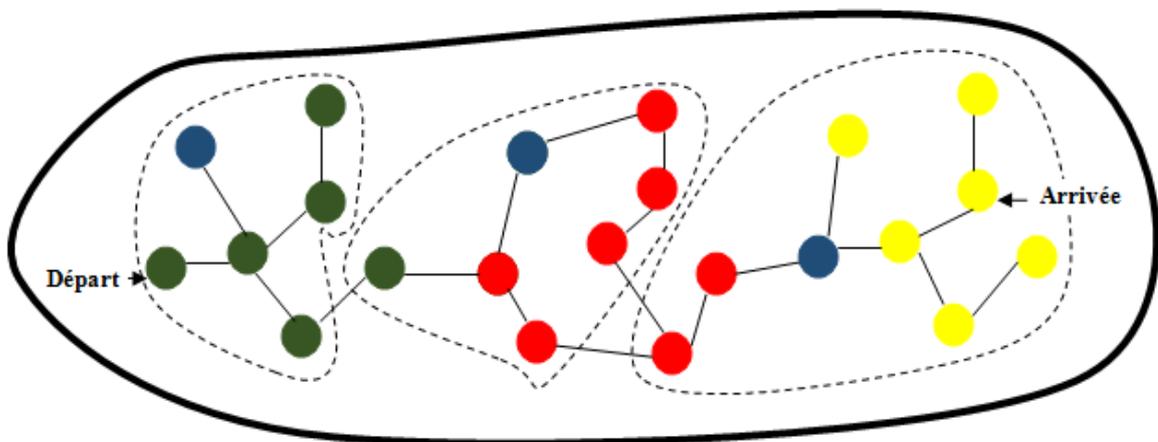
- La zone de départ et la zone d'arrivée sont identiques mais la compagnie de départ et la compagnie d'arrivée sont différentes : Un graphe d'adjacence entre les compagnies est établi afin de déterminer les compagnies intermédiaires qui peuvent prendre partie pour satisfaire cette demande. Le graphe d'adjacence est représenté par une matrice d'adjacence, et les stations d'échange représentent l'intersection entre les différentes

compagnies dans la table d'adjacence. L'algorithme de Yen (Yen, 1974) pour calculer les k plus courts itinéraires est lancé afin de déterminer les compagnies intermédiaires concernées, la demande est fragmentée en de nombreuses sous-requêtes selon les stations d'échange (figure (3.17)).



**Figure 3.17** Domaine de recherche - La zone de départ et la zone d'arrivée sont identiques mais la compagnie de départ et la compagnie d'arrivée sont différentes

- La zone de départ et la zone d'arrivée sont différentes et la compagnie de départ et la compagnie d'arrivée sont différentes : d'abord, l'algorithme de Dijkstra est appliqué sur un graphe d'adjacence entre les zones afin de déterminer les zones intermédiaires concernées, puis dans chaque zone concernée, l'algorithme de Yen est appliqué sur le graphe d'adjacences des compagnies afin de déterminer les compagnies intermédiaires concernées comme expliqué dans la figure (3.18).



**Figure 3.18** Domaine de recherche -La zone de départ et la zone d'arrivée sont différentes et la compagnie de départ et la compagnie d'arrivée sont différentes

### 3.8 Application de l'algorithme de Voronoï

Comme il a été mentionné dans la section (2.4.5), la décomposition de Voronoï consiste à créer des zones par rapport à des points sélectionnés au préalable. Une zone est définie par l'ensemble des points qui sont les plus proches de l'un des points choisis à l'avance. Dans notre cas, les points représentent les stations et sont présélectionnés en fonction de la densité

du trafic. L'algorithme de décomposition de Voronoï adapté à notre étude (SIM) est présenté dans ce qui suit:

---

**Algorithme1:**Décomposition de Voronoï

---

**Debut**

1. **Pour** toutes les stations sélectionnées **Faire**
2. **Pour** toutes les stations non visitées **Faire**
3. Calculer les distances orthodromiques avec  
Les stations présélectionnées
4. Sélectionner la distance minimale
5. Affecter la station à la zone (région) adéquate
6. **Fin Pour**
7. **Fin Pour**
8. Mise à jour des zones

**Fin**

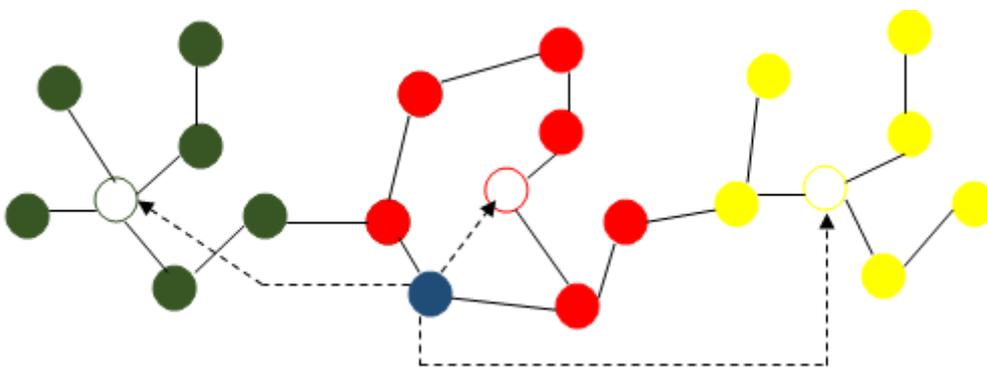
---

La distance orthodromique consiste à calculer la distance la plus courte entre deux points sur une sphère (nous considérons la sphère comme une sphère parfaite dans notre cas). La distance présentée dans la section (3.5.2) se présente comme suit :

$$ge(\delta, \lambda, \delta', \lambda') = 2R \arcsin \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\delta' - \delta}{2} \right) + \cos \delta \cdot \cos \delta' \cdot \sin^2 \left( \frac{\lambda' - \lambda}{2} \right)} \quad (\text{Gale, 2010})$$

- R est le rayon de la sphère (Rayon de la Terre  $\approx 6367000$  mètres)
- $\delta$  est la latitude (en radians)
- $\lambda$  est la longitude (en radians)

La figure (3.19) donne un aperçu sur la méthode d'affectation d'une station (nœud bleu) à une des trois régions. Les stations en blanc représentent les stations présélectionnées au préalable. Afin d'affecter le nœud bleu à l'une des trois régions, le système calcule les distances orthodromiques avec les trois stations présélectionnées (flèches en pointilles). Le nœud fournissant la plus courte distance forme alors la région avec la station en question.



**Figure 3.19** Affectation d'un nœud selon les diagrammes de Voronoï

### **3.9 Traitements des requêtes touristiques**

Le traitement des requêtes des voyageurs concernent le plus souvent les requêtes d'itinéraires permettant aux voyageurs de se déplacer d'un point de départ afin de rallier un point d'arrivée. Néanmoins, nous nous sommes intéressés-dans le cadre de cette thèse-aux informations touristiques que fournissent les compagnies de transport. Les informations demandées par les voyageurs peuvent être des données concernant une place, un monument ou un endroit qui a interpellé l'attention du voyageur.

Le processus de traitement des requêtes touristiques se présente comme suit : d'abord, l'agent identificateur identifie la requête d'itinéraire. La requête est alors transmise à l'agent annuaire qui localise les stations les plus proches de l'endroit concerné. Un agent mobile est alors lancé vers les différentes compagnies responsables de ces stations adjacentes. Enfin, la réponse adéquate est présentée au voyageur. La figure (3.20) présente le fonctionnement du système lors du traitement d'une requête touristique :

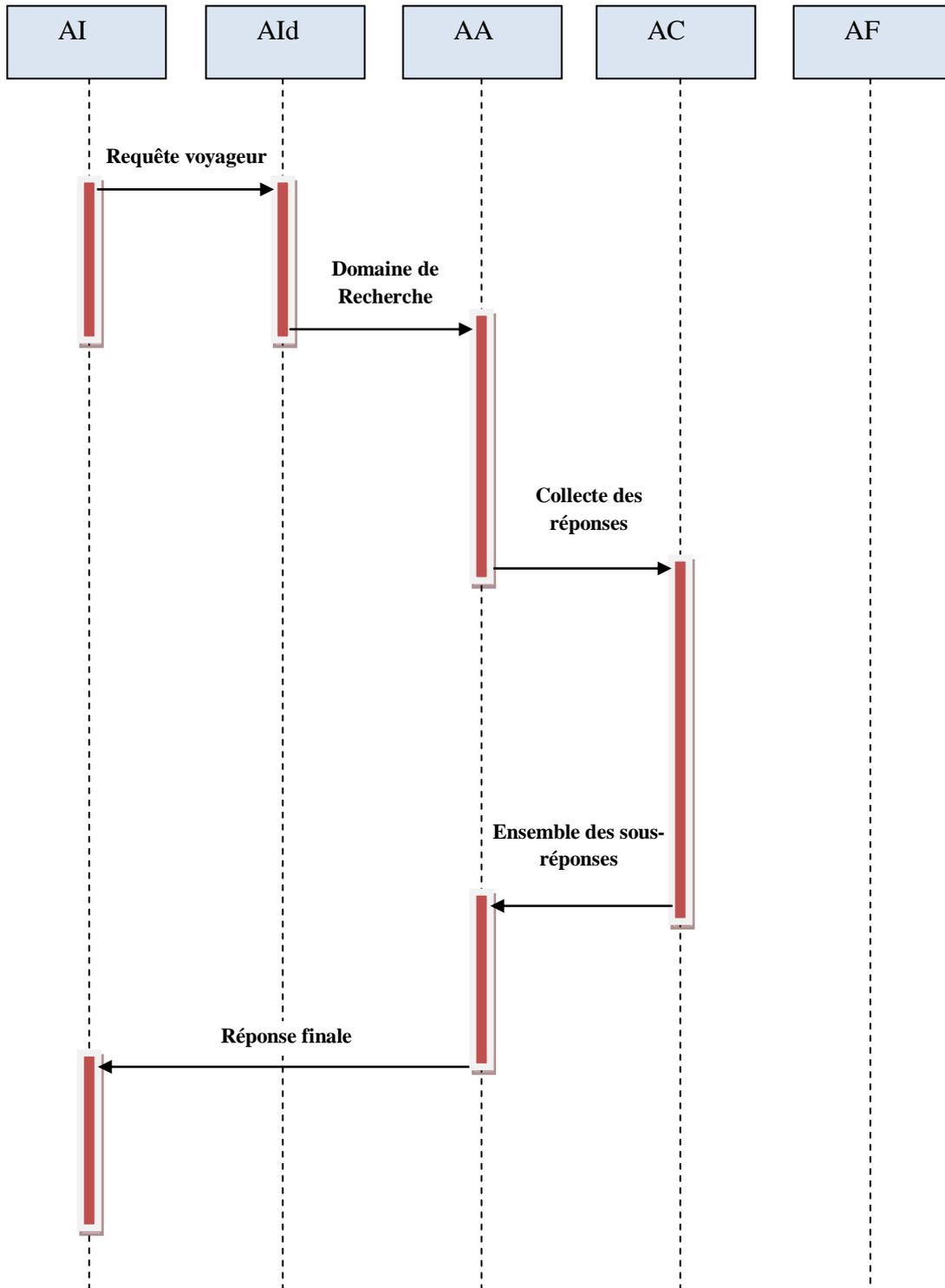


Figure 3.20 Comportement global des agents du système lors des requêtes touristiques

### 3.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé un système d'information multimodale dans le but d'optimiser les processus de calcul. L'approche adoptée vise à minimiser le nombre de nœuds dans les graphes. En effet, la complexité des algorithmes de calcul d'itinéraires repose sur le

### Chapitre 3 : Vers un système d'information multimodale

nombre de nœuds et le nombre d'arêtes dans les graphes, la taille de ces derniers est alors d'une grande importance.

L'approche proposée se décline en deux phases : d'abord, une phase hors ligne qui consiste à décomposer le réseau global de toutes les compagnies de transport de manière fictive en se basant sur une adaptation des diagrammes de Voronoï sur les réseaux de transport étudiés dans le cadre de notre travail. Puis une phase en ligne où les voyageurs émettent leurs requêtes via un portail web afin de demander un itinéraire multimodal ou obtenir des informations touristiques sur un endroit ou un site aperçu lors de leurs trajets.

Afin de répondre aux exigences réelles de la législation algérienne sur les transports en commun, nous avons opté pour l'utilisation d'agents mobiles afin de récolter les informations des différentes compagnies de transport. En effet, cette technique permet aux différentes compagnies de garder leur autonomie et de protéger du mieux que possible les informations qui peuvent être cruciales pour le bon fonctionnement et le monopole du marché.

Afin de bien expliquer le bon fonctionnement de notre système, nous avons d'abord défini son fonctionnement, les agents qui le composent, les relations entre eux ainsi que les différentes interactions au sein du système.

# Mise en œuvre du système d'information multimodale

## 4.1 Introduction

Le système que nous avons proposé est basé sur la décomposition des requêtes afin de répartir les tâches entre plusieurs agents. La collecte des sous-réponses constitue la réponse finale du voyageur. Nous récoltons donc une information multimodale dispersée entre les systèmes d'aide aux déplacements des différentes compagnies de transport.

Dans ce chapitre, nous présentons les différents outils que nous avons utilisés en justifiant notre choix, puis nous discuterons les résultats obtenus suite à la simulation des différents types de requêtes des voyageurs.

## 4.2 Outils informatique utilisé

### 4.2.1 Le langage java

Pour développer les algorithmes que nous avons utilisés dans notre système, nous avons opté pour le langage de programmation Java développé par Sun Microsystems<sup>25</sup>. L'atout principal du langage Java consiste en sa portabilité. En effet, les applications Java peuvent être exécutées sur les différents systèmes d'exploitation pour lesquels a été développée une plateforme Java, appelé JRE (JavaRuntimeEnvironment – Environnement d'exécution Java). Cette dernière est constituée d'une Machine Virtuelle Java JVM (Java Virtual Machine), le programme qui interprète le code Java et le convertit en code natif. Mais le JRE est surtout constitué d'une bibliothèque standard, à partir de laquelle doivent être développés tous les programmes en Java. C'est la garantie de portabilité qui a fait la réussite de Java dans les architectures client-serveur, en facilitant la migration entre serveurs, très difficile pour les gros systèmes (Zidi, 2005).

Un autre avantage du langage Java consiste en son indépendance quant à la plateforme d'exécution. En effet, les programmes écrits en Java peuvent être exécutés sur divers types de matériel informatique sans avoir à le modifier. Ce qui répond au slogan « write once, run anywhere » (écrire le programme une seule fois, et le faire fonctionner sur n'importe quel ordinateur) (Zidi, 2005).

### 4.2.2 Plate-forme multi-agent : JADE

La plateforme JADE est un environnement de développement d'agents basé sur Java, il simplifie la mise en place d'un système multi-agents car il répond à plusieurs critères. Jade facilite la mise en place d'un système multi-agents répondant aux spécifications de FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agent), ceci à travers un ensemble d'outils. L'organisation FIPA <sup>26</sup>a pour objectif d'établir des standards afin de faciliter l'interopérabilité des applications et des services informatiques. Le plus connu des standards FIPA est le langage ACL (Agent Communication Language).

Bien qu'il existe plusieurs types de plateforme multi-agent, seule la plateforme JADE fournit un certain nombre de caractéristiques qui nous a dicté notre choix (Zgaya, 2007) :

---

<sup>25</sup> Racheté par Oracle

<sup>26</sup> Dissoute, remplacé par les standards IEEE en 2005

## Chapitre 4 : Mise en œuvre du système d'information multimodale

- La possibilité d'implémenter des systèmes relativement complexes
- La flexibilité : éviter les plates-formes qui supportent une méthodologie particulière
- L'accélération de développement grâce à la présence suffisamment importante de briques logicielles pour pouvoir produire une application aboutie
- Le traitement distribué et notamment la présence d'un support pour le paradigme AM
- Possibilité d'intégration des services web.

Les deux plateformes qui ne suivent aucune méthodologie particulière sont JADE et Jack, néanmoins JADE offre plus de caractéristiques, notamment la possibilité d'intégration des services web.

### **4.3 Résultats obtenus**

Comme expliqué dans le chapitre 3, notre système gère à la fois une partie en ligne qui consiste en l'interaction avec les requêtes émises par l'utilisateur, et une partie hors ligne qui consiste en les mises à jour des réseaux, ces mises à jours sont le plus souvent applicables lors de l'intégration de nouvelles compagnies de transport au sein du système. Le schéma suivant explique le fonctionnement de notre système.



## Chapitre 4 : Mise en œuvre du système d'information multimodale

Afin de valider l'approche proposée, nous avons effectué une simulation sur des données réelles tirés à partir des tableaux de marche des différentes compagnies de transport en commun dans la ville d'Oran. Nous avons travaillé sur une machine disposant d'un processeur i3-380, 4Go de RAM et disque dur de 750Go. Le langage utilisé pour la programmation est le Java (Dale, 2011) et la plate-forme utilisée pour le système multi-agents est JADE (Bellifemine et al., 2007). L'application est déployée via un portail web. Les données sont tirées des tableaux de marche de trois compagnies qui opèrent sur trois modes de transports différents qui sont l'autobus, le tramway et le train. Le réseau des autobus est composé de 182 nœuds et 52416 événements d'arrivées/départs par jour. Le réseau du tramway est composé de 32 nœuds et 5760 événements de départ/arrivées par jour. Le réseau ferroviaire est composé de 12 stations et 1850 événements de départ/arrivées par jour.

Nous avons calculé le nombre de nœuds et d'arêtes impliqués dans les traitements des requêtes dans cinq types d'architectures :

- Architecture centralisée
- Architecture centralisée par zone
- Notre architecture en initialisant l'algorithme de Voronoï avec des stations à fort trafic.. (1)
- Notre architecture en initialisant l'algorithme de Voronoï avec des stations à moyen trafic.. (2)
- Notre architecture en initialisant l'algorithme de Voronoï avec des stations à faible trafic.. (3)

Le tableau (4.1) montre le nombre de nœuds et d'arêtes impliqués dans un voyage de 800 mètres. Le tableau (4.2) pour un voyage de 5100 mètres et le tableau (4.3) lors d'un voyage de 12000 mètres :

Mode	Nombre de nœuds	Nombre d'arêtes
Centralisée	226	503
Centralisée par zone	101	197
Voronoi (1)	36	63
Voronoi(2)	64	152
Voronoi(3)	94	193

**Tableau 4.1** Nombre de nœuds impliqués dans le traitement d'une requête d'itinéraire d'une distance 800 mètres

Mode	Nombre de nœuds	Nombre d'arêtes
Centralisée	226	503
Centralisée par zone	173	274
Voronoi(1)	78	158
Voronoi(2)	123	215
Voronoi(3)	171	404

**Tableau 4.2** Nombre de nœuds impliqués dans le traitement d'une requête d'itinéraire d'une distance 5100 mètres

Mode	Nombre de nœuds	Nombre d'arêtes
Centralisée	226	503
Centralisée par zone	226	503
Voronoi(1)	112	232
Voronoi(2)	164	308
Voronoi(3)	226	468

**Tableau 4.3** Nombre de nœuds impliqués dans le traitement d'une requête d'itinéraire d'une distance 12000 mètres

A partir des tableaux (4.1) (4.2) et (4.3), il est clair que le nombre de nœuds impliqués lors de la décomposition du réseau selon les diagrammes de Voronoï est inférieur aux autres architectures. Le traitement des requêtes dans l'architecture reposant sur Voronoï opère sur un sous-réseau et non pas sur sa totalité.

Le choix des stations d'initialisation (N) dans notre approche est très important. Nous avons calculé le temps de traitement en faisant varier le nombre de stations d'initialisation (N) et leur nature (haute, moyenne et faible trafic). Nous avons testé trois requêtes d'itinéraires différentes (800, 5100 et 12000 mètres). La figure (4.1) montre les temps de calcul en millisecondes (ms) dans chaque situation. Les courbes sur la gauche donnent les temps de réponse lors de l'initialisation de l'algorithme de Voronoï avec trois stations, les courbes du

## Chapitre 4 : Mise en œuvre du système d'information multimodale

milieu donnent les temps de réponse lors de l'initialisation de l'algorithme de Voronoï avec quatre stations, enfin les courbes sur la droite donnent les temps de réponses lors de l'initialisation de l'algorithme de Voronoï avec cinq stations. Les résultats montrent clairement que l'initialisation avec des stations à fort trafic offrent les meilleurs temps de réponse peu importe le nombre de stations d'initialisation de l'algorithme de Voronoï.

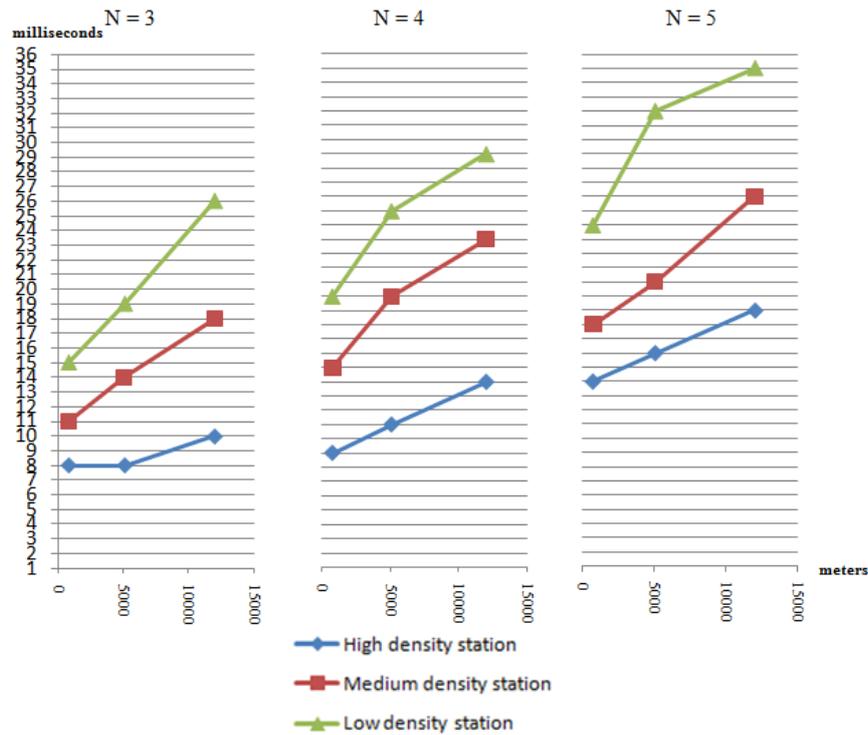


Figure 4.2 Comparaison des temps de réponses selon l'initialisation de Voronoï

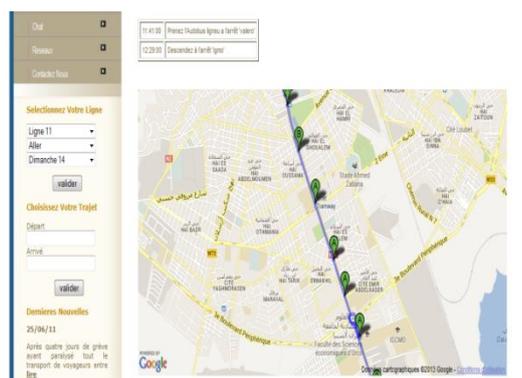


Figure 4.3 Aperçu du résultat d'une requête d'itinéraire

### 4.4 Discussions

Les résultats des tableaux (4.1), (4.2) et (4.3) montrent que le nombre de nœuds impliqués dans le traitement des requêtes d'itinéraire dans l'architecture centralisée est constant et correspond à 226 nœuds. Ce nombre représente le nombre total des stations de toutes les

compagnies qui adhèrent au système. L'architecture centralisée opère sur les réseaux de toutes les compagnies quel que soit la distance du trajet. La centralisation de l'architecture implique la mise à disposition de l'information de la part des compagnies des transports. Le partage des informations par une compagnie de transport, hormis leurs valeurs marchandes, pose le problème de la maîtrise et des modifications des données. En effet, le partage de l'information et sa mise à disposition pour un système d'information multimodale fait perdre la compagnie concernée la maîtrise des données et pose très souvent le problème des mises à jour. La centralisation des données est beaucoup plus adaptée à des petits réseaux de compagnies des transports où le nombre de nœuds est restreint car elle permet une facilité de mise en place et une meilleure maîtrise des données. Il est important de rappeler que dans un graphe de réseau de transport chaque station est représentée par une dizaine de nœuds, un nœud physique et un nœud événementiel pour chaque départ ou arrivée (Pajor, 2009).

Dans l'architecture centralisée par zone (architecture distribuée), le nombre de nœuds impliqués dans les traitements des requêtes varie selon la distance des déplacements (tableaux (4.1), (4.2) (4.3)). 101 nœuds pour un voyage de 800 mètres, 173 nœuds pour un voyage de 5100 mètres et 226 nœuds pour un voyage de 12000 mètres. Le but d'une architecture centralisée par zone est de regrouper les réseaux des compagnies de transports qui opèrent dans le même périmètre géographique et de créer un seul réseau. De ce fait, lors du traitement d'une requête d'itinéraire c'est les réseaux de toutes les compagnies qui appartiennent à la zone qui sont sollicités. Plus la distance du déplacement est longue, plus la probabilité de passer par plusieurs zones augmente. En réalité, dans l'architecture centralisée par zone le nombre de nœuds impliqués dépend de la distance du déplacement et du nombre de zones concernés par le traitement de la requête. La distribution des traitements selon les zones géographiques permet une meilleure tolérance aux pannes par rapport aux architectures centralisées mais pose toujours le problème de la propriété de l'information mise à la disposition des voyageurs surtout dans le cas d'inexactitude de l'information.

Les résultats obtenus dans les l'architecture que nous proposons montrent que le nombre de nœuds impliqués dans le traitement des requêtes est significativement inférieur aux nombres de nœuds impliqués dans l'architecture centralisée et l'architecture centralisée par zone. Cette réduction considérable des nombres de nœuds concernés par les traitements des requêtes d'itinéraire par rapport aux architectures existantes s'explique par le fait que le traitement des requêtes se base sur les sous-réseaux des compagnies de transports. En effet, le but de notre travail est de créer les meilleures zones selon la concentration du trafic afin de gérer dans les meilleures des conditions les requêtes des voyageurs. Néanmoins, pour un même voyage le nombre de nœuds impliqués dans le traitement d'une requête change selon l'initialisation de l'algorithme de Voronoï. L'initialisation de l'algorithme de Voronoï avec des stations à fort trafic a permis de minimiser au mieux le nombre de nœuds invoqués : 36 nœuds pour un voyage de 800 mètres, 78 nœuds pour un voyage de 5100 mètres et 112 nœuds pour un voyage de 12000 mètres. Ce nombre augmente lors de l'initialisation avec des stations à moyen trafic et plafonne lors de l'initialisation avec des stations à faible trafic. L'initialisation avec des stations à fort trafic donne clairement les meilleurs résultats car ils permettent d'avoir des zones avec une forte concentration du trafic. Le choix de ces stations

d'initialisation reste difficile et se heurte au problème du démarrage à froid que connaissent les algorithmes de clustering, plusieurs travaux ont proposé des solutions pour l'initialisation des algorithmes de clustering (El Agha et Ashour, 2012; Reddyet Jana, 2012).

Les résultats de la figure (4.2) permettent de visualiser les temps de réponses entre les différentes initialisations de l'algorithme de Voronoï lors des traitements des requêtes selon la distance des voyages et le nombre de zones choisies. L'initialisation avec des stations à fortes trafic fournit les meilleurs délais. Le temps de calcul augmente légèrement avec l'incrémentation du nombre de zones, ceci est dû au nombre de messages échangés entre les agents. Il est donc nécessaire de trouver le juste équilibre entre le nombre de zones créées et le nombre de messages échangés entre les agents, il doit aller de pair avec une bonne sélection des stations d'initialisation de l'algorithme de Voronoï. Nous devons penser à exploiter les techniques de l'analyse des données pour trouver la meilleure initialisation possible. Enfin, si le choix des stations à faible trafic est le plus coûteux en temps de réponse, il serait intéressant de l'essayer sur un réseau national pour tester les requêtes dans les villages reculés ou dans les quartiers urbains ou suburbains de la ville.

Par ailleurs, l'architecture basée sur les diagrammes de Voronoï que nous proposons offre l'autonomie aux compagnies de transports car ils ne sont pas obligés de partager leurs données. Les compagnies de transport gardent la maîtrise de l'information et notre système devient médiateur entre les systèmes d'informations des différentes compagnies. Cette indépendance offerte aux compagnies de transports les encourage à intégrer notre système.

### 4.5 Scenario de simulations

Dans les tableaux suivants, nous présentons les résultats de notre simulation, selon les paramètres introduits par l'utilisateur. Ces paramètres consistent en les nœuds de départ et d'arrivée ainsi qu'une possibilité de faire rentrer des adresses dans le but de déterminer les stations les plus proches. Les abréviations suivantes sont expliquées dans ce qui suit :

- **A** signifie l'utilisation des autobus, alors que **T** signifie l'utilisation du tramway, (A11 : la ligne 11, A51 : la ligne 51 etc)
- Un itinéraire est la succession de tronçons entre autobus **A** et/ou Tramway **T**
- Le nombre de nœuds représente la taille des graphes impliqués lors du traitement d'une requête.

Lors de ces simulations (Annexe 2), nous avons varié à chaque fois les types des stations d'initialisation (forte, moyenne et faible densité), le nombre de stations choisies (nombre de cluster) pour l'initialisation de Voronoï ainsi que la distance des trajets. Les résultats des simulations démontrent clairement que l'initialisation de l'algorithme de Voronoï fournit les meilleurs résultats, en termes de taille des graphes exploités, lors de l'initialisation avec des stations à forte densité. Néanmoins, il serait intéressant de tester les différents modes d'initialisation dans un réseau étendu sur un large périmètre géographique. Par ailleurs, l'initialisation avec des stations avec une faible densité permet d'avoir plus d'alternatives afin de fournir l'itinéraire adéquat au voyageur.

**Nombre de Cluster : 3**

**Type de stations d'initialisation : Forte densité**

**Distance approximative du voyage : 800 m**

**Itinéraire : Boulanger - Palmiers**

<b>Itinéraire</b>	<b>Nombre nœuds</b>
T : Boulanger-Charfaoui-Palmiers	26 nœuds
A2 : Boulanger-Charfaoui-Palmiers	36 nœuds

**Nombre de Cluster : 3**

**Type de stations d'initialisation : Moyenne densité**

**Distance approximative du voyage : 800 m**

**Itinéraire : Boulanger – Palmiers**

<b>Itinéraire</b>	<b>Nombre nœuds</b>
T : Boulanger-Charfaoui-Palmiers	33 nœuds
A2 : Boulanger-Charfaoui-Palmiers	47 nœuds

**Nombre de Cluster : 3**

**Type de stations d'initialisation : Faible densité**

**Distance approximative du voyage : 800 m**

**Itinéraire : Boulanger - Palmiers**

<b>Itinéraire</b>	<b>Nombre nœuds</b>
T : Boulanger-Charfaoui-Palmiers	112 nœuds
A2 : Boulanger-Charfaoui-Palmiers	112 nœuds

De manière générale, l'initialisation avec des stations à forte densité permet de réduire de manière considérable la taille du réseau lors des traitements des requêtes, l'initialisation avec les stations à faible densité implique (dans la majorité des cas) la gestion du réseau en entier, cette initialisation revient à faire appel à l'ensemble du réseau et est comparable à une

architecture centralisée. Néanmoins, elle offre plus d'alternatives d'itinéraires au voyageur afin de répondre au mieux à ses préférences, plusieurs scénarios de simulations sont présentés en Annexe afin de mieux expliciter les conclusions présentés ci-dessus.

### 4.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents scénarios de simulation pour des calculs d'itinéraires selon le type de requête des voyageurs. L'architecture d'un réseau de transport est normalement distribuée, ce qui nous a amené à proposer un système basé sur une architecture multi-agents. Pour cela, nous avons opté pour la plateforme Jade. L'implémentation de notre système démontre la faisabilité d'un portail pour l'aide à la mobilité dans un contexte assez complexe où l'information multimodale n'est pas la propriété d'une seule entité mais est dispersé entre entreprise publique et entreprise privée.

Au-delà de la mise en place du système d'aide aux déplacements, nous avons réduit la complexité des calculs en réduisant la taille des graphes lors de la recherche de l'information multimodale. La méthode que nous avons choisie repose sur une initialisation des stations, cette initialisation est d'une influence directe sur les traitements des requêtes, nous avons donc varié les types des stations d'initialisation selon leur densité, l'utilisation des stations à forte densité nous a offert les meilleurs résultats en terme de réduction de taille des réseaux.

## Conclusion générale et perspectives

Dans ce travail, nous avons traité la problématique de l'information multimodale, le but de cette thèse était d'abord de respecter le contexte de la législation algérienne tout en offrant aux voyageurs la possibilité de consulter, chercher et obtenir les informations qu'ils recherchent. L'information multimodale représente aujourd'hui un atout important pour tous les protagonistes qui s'intéressent à cette dernière. Nous pouvons les énumérer en trois personnes (physiques ou morales) suivant :

- Le voyageur : la préoccupation principale du voyageur est d'obtenir l'information ou l'itinéraire qu'il souhaite prendre dans les meilleurs délais. Ce dernier peut avoir des préférences quant à l'utilisation d'un mode de transport
- La compagnie de transport : l'objectif de chaque compagnie de transport est d'agrandir sa part du marché et atteindre les objectifs tracés à l'avance tout en protégeant les informations d'une valeur économique importante permettant d'avoir le monopole du marché.
- Les autorités organisatrices : veillent principalement à faire respecter les règles choisies par la législation dans l'optique d'une meilleure maîtrise des données afin de faire valoir d'autres secteurs comme le tourisme.

Dans l'objectif de promouvoir le secteur des transports en Algérie, plusieurs textes ont été votés afin de faciliter et d'encourager les personnes à investir dans les transports en commun. Cette stratégie, bien qu'ayant réglé une partie des problèmes liés aux difficultés des déplacements, reste aujourd'hui insuffisante face à la demande continuellement croissante de la population. D'autre part, la concurrence entre le secteur privé et le secteur public ont amené les secteurs à une concurrence déloyale provoquant le non-respect des tableaux de marche et les textes tracés par la loi.

Dans le but d'offrir un meilleur accès à l'information multimodale, nous avons d'abord étudié les textes existants et les différents modes de transport opérant en Algérie ainsi que les différentes sociétés d'exploitations. Cette démarche nous a permis de récolter les informations relatives aux horaires de passages et aux tableaux de marche des différentes compagnies de transport aussi bien dans le secteur public que privé. Cette étude sur le terrain, bien que coûteuse<sup>27</sup>, représente notre moteur de recherche dans le sens où toutes les méthodes et techniques choisies pour la mise en place de notre système étaient en très forte corrélation avec les règles et textes choisis tirés suite à cette étude du réel. En effet, les difficultés d'ordre organisationnelles étaient d'une grande influence sur le choix de nos méthodes. Il fallait donc satisfaire les exigences organisationnelles tout en respectant les exigences techniques.

L'étude des différents systèmes d'aide aux déplacements nous a permis de dénombrer deux principales techniques de mise en place :

---

<sup>27</sup> L'étude sur le terrain avait pour but de : 1- Etudier les différents parcours des différentes lignes (Autobus et Tramway). 2- Localiser les différentes stations géographiquement (sur map) 3- Mettre en place les tableaux de marche : horaires de passages des moyens de transport sur les différentes lignes.

## Conclusion générale et perspectives

- D'abord une centralisation totale des données, cette technique utilisée dans les petits réseaux de transports ou dans les petits espaces géographiques tel que la Suisse a pour but de centraliser toutes les données : stations, liens, horaires de passages et informations touristiques dans une même et unique base de donnée. Ceci permet d'appliquer un seul algorithme de recherche d'information. Néanmoins, si le système connaît des pannes, c'est toutes les compagnies de transport qui seront paralysés. De plus, dans un large périmètre géographique, il est difficile de concevoir un tel système en centralisant toutes les données et appliquer un seul algorithme de recherche.
- Puis, une centralisation partielle des données : l'idée est de créer des bases de données selon les périmètres géographiques et appliquer des algorithmes de recherches sur chaque bases de données concernée par le traitement d'une requête. la réponse finale se fait alors par l'interaction entre les différentes zones. Cette technique, très efficace, permet de régler le problème de la taille des graphes mais ne règle pas le problème de l'implication inutile de certains graphes d'entreprises non concernés par le traitement d'une requête.

Il y'a lieu de signaler que les deux types de systèmes ne prennent pas en compte la possibilité de fournir aux compagnies de transport leur autonomes, c'est-à-dire : le choix de ne pas partager leurs données. Ce point est très crucial dans la mesure où le partage des données est perçu comme un handicap et une possibilité de perte d'informations cruciales pour le monopole du marché.

Afin de faire face à ces différents problèmes, nous avons opté pour la décomposition fictive du réseau global. Notre système possède une vue globale sur tous les réseaux des différentes compagnies et choisit les graphes des compagnies concernées par le traitement d'une requête pour y appliquer les algorithmes de recherche. Afin de respecter la confidentialité des données et des techniques d'exploitation, un agent mobile est envoyé aux compagnies de transport concernées par le traitement des requêtes afin de récolter les sous-réponses.

Plusieurs techniques permettent la décomposition d'un réseau, bien que nous ayons étudié les différentes méthodes telles que les k-means (Bendaoud et Bouamrane, 2013c), les approches ascendantes et descendantes, et plusieurs algorithmes liés aux graphes sociaux. Nous avons opté pour la décomposition basée sur les diagrammes de Voronoï pour son efficacité et son analogie instinctive avec notre étude.

Lors de la réception d'une requête d'itinéraire, le système la décompose en sous-requêtes et sélectionnent les zones et compagnies concernées, les agents mobiles récupèrent les réponses de ces sous-requêtes, leur fusion forment la réponse finale de l'utilisateur.

Enfin, l'expérimentation de notre système a été effectué su la ville d'Oran, notre grand défi est de pouvoir tester notre système sur un niveau national. Le passage à l'échelle nécessite une étude technique et économique très approfondie mais permettrait de régler le problème du secteur des transports en commun en Algérie.

## Conclusion générale et perspectives

Dans nos perspectives globales, nous comptons intégrer notre système avec d'autres travaux afin de fournir une plateforme complète d'aide aux déplacements. A savoir l'intégration d'un système de régulation du trafic et d'un système de covoiturage pour particulier. Par ailleurs, nous comptons faire appel à l'analyse des données pour automatiser le choix des stations d'initialisation, ainsi qu'intégrer un protocole de négociation et de coopération entre les agents pour la gestion du réseau dans un état dégradé.

Références  
Bibliographiques  
Et  
Webographiques

## Références bibliographiques et webographiques

- ALABRESE, M. 2011. *Hierarchical-Granularity Holonic Modelling*. Thèse de doctorat, Université de Milan. Italie.
- ARM-ARCHITECTURE. *city of gold coast* [Online]. [http://www.a-r-m.com.au/projects\\_GoldCoastCP.html](http://www.a-r-m.com.au/projects_GoldCoastCP.html). [Acces : 23-05-2014].
- AURENHAMMER, F. 1991. Voronoi Diagrams – A Survey of a Fundamental Geometric Data Structure. *ACM Computing Surveys*, 23. 345–405.
- AUSTIN, D. 2001. *Voronoi Diagrams and a Day at the Beach* [Online]. <http://www.ams.org/samplings/feature-column/fcarc-voronoi>. [Acces : 23-05-2014].
- BEAVERS, G. & HEXMOOR, H. 2011. Teams of agents. *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Conference*. Alaska, Etats-Unis. 574-582.
- BELLIFEMINE, FL., CAIRE, G. & GREENWOOD, D. 2007. *Developing Multi-Agent Systems with JADE*. Edition Wiley. (ISBN: 978-0-470-05747-6).
- BELLMAN, R. 1958. On a routing problem. *Quarterly of Applied Mathematics*. 16, 87–90.
- BENDAOU, Z & BOUAMRANE, K. 2013a. Un modèle réaliste d'un réseau de transport urbain pour les systèmes d'information multimodale. *Third International Conference on Systems and Information Proceeding, ICSIP'2013*. Guelma, Algérie. 165-173.
- BENDAOU, Z & BOUAMRANE, K. 2013b. Système d'information voyageurs global basé sur la décomposition de Voronoi pour l'aide à la mobilité. *7<sup>ème</sup> Edition de la Conférence Maghebine sur les Avancés des Systèmes Décisionnels, ASD'2013*. (ISBN 978-9-98-1 13000-1). Merrakech, Maroc. 369-380.
- BENDAOU, Z. & BOUAMRANE, K. 2013c. A global traveler information system based on k-means clustering. *1<sup>st</sup> International Workshop on Vehicular Networks and Telematics*. Merrakech. Maroc.
- BENDAOU, Z. & BOUAMRANE, K. 2014a. A Traveller Information System: Minimisation of the Number of Graphs' Nodes Involved When Processing Route Requests. *Transport and Telecommunication Journal*. 4. 280-291.
- BENDAOU, Z. & BOUAMRANE, K. 2014b. An effecient process to minimize the number of invoked nodes in multimodal information system. *Journées doctorales du laboratoire d'informatique d'Oran*. Oran, Algérie.
- BERG, M., KREVELED, M., OVERMARS, M. & SCHWARZKOPF, O. 2000. *Computational Geometry (2nd revised ed.)- Section 7.2 : Computing the Voronoi Diagram*, Springer-Verlag.
- BERGE, C. 1958. *Théorie des graphes et ses applications*. Edition Dunod.
- BERKHIN, P. 2002. *Survey of clustering data mining techniques*. Rapport technique de Accrue Software. Californie, Etats-Unis.
- BOUAMRANE, K. 2006. *Uun système d'aide à la décision pour la régulation d'un réseau de transport bimodal*. Thèse de doctorat d'état, Université d'Oran. Algérie.

## Références bibliographiques et webographiques

- BOUAMRANE, K & AMRANI, F. 2007. Un système d'aide à la régulation pour un réseau de transport urbain collectif : Vers une approche à base de cas. *Journal of Decision Systems (JDS)*, Hermès Science Publications. 4. 469-504.
- BRODAL, G. & JACOB, R. 2004a. Time-dependent Networks as Models to Achieve Fast Exact Time-table Queries. *3rd Workshop on Algorithmic Methods and Models for Optimization of Railways (ATMOS'2004)*, Bergen, Norvege. 3-15.
- BRODAL, GS. & JACOB, R. 2004b. Time-dependent networks as models. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 92. 3-15.
- BOOCH, G., RUMBAUGH, J. & JACOBSON, I. 2000. *Le guide de l'utilisateur UML*. Edition Eyrolles, (ISBN 2-212-09103-6).
- CAICOYA, S. & SAURY, JG. 2013. *TCP/IP - Le guide complet, Maîtrisez les principes de la communication réseau sous Windows*. Edition Micro Application. EAN13 : 9782822401517.
- CAMILLE, W. 2008. *Generalized Voronoi Diagrams and Applications*. PhD, Université de Nice Sophia Antipolis.
- CAMMARATA, S., MCARTHUR, D. & STEEB, R. 1983. Strategies of cooperation in distributed problem solving. *Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Karlsruhe, Allemagne.
- CANDILLIER, L. 2006. *Contextualisation, visualisation et évaluation en apprentissage non supervisé*. Thèse de doctorat, Université de Lille, France.
- CHAIB-DRAA, B. 1996. Interaction between Agents in Routine, Familiar and Unfamiliar Situations. *International Journal of Intelligent & Cooperative Information Systems*. 5, 1-25.
- CORKILL, D. & LANDER, SE. 1998. Diversity in Agent Organizations. *Object Magazine*. 8, 41-47.
- DALE, N., JOYCE, DT. & WEEMS, C. 2011. *Object-Oriented Data Structures Using Java*, 3rd edition. Edition Jones & Bartlett Learning.
- DAMON, C. & VEGA, SF. 2004. *La triangulation de Delaunay: application au problème de la superresolution*. Cours de traitement d'images. Master de Recherche "Mathématiques, vision, apprentissage". Institut Mines-Télécom, Paris, France.
- DANFLOUS, D. 2000. *Déploiement national des Systèmes d'information Multimodale, Delfi : l'exemple allemand*. Rapport du Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. France.
- DANFLOUS, D. 2001. *Déploiement national des Systèmes d'Information Multimodale, GOFAS: l'exemple Suisse*. Rapport du Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. France.
- DANFLOUS, D. 2003. *Déploiement national des Systèmes d'Informafion Multimodale, Transport Direct : l'exemple Anglais*. Rapport du Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. France.

## Références bibliographiques et webographiques

- DANFLOUS, D. 2006. *Déploiement national des systèmes d'information multimodale, 9292 : l'exemple des Pays-Bas*. Rapport du Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. France.
- DAVIS, R. & SMITH, R.G. 1983. Negotiation as a metaphor for distributed problem solving. *Artificial Intelligence*. 20, 63-109.
- DE COURCY, R. 1992. Les systèmes d'information en réadaptation. *Réseau international CIDIH et facteurs environnementaux, Quebec*. 5, 7-10.
- DELLING, D. 2009. *Engineering and Augmenting Route Planning Algorithms*. PhD, Université de Fridericiana Karlsruhe.
- DELLING, D., PAJOR, T. & WAGNER, D. 2008. Engineering Time-Expanded Graphs for Faster Timetable Information. *8th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modeling, Optimization, and Systems*, Allemagne.
- DELLING, D., SANDERS, P., SCHULTES, D. & WAGNER, D. 2009. Engineering Route Planning Algorithms. *Lecture Notes in Computer Science*. 5515, 117-139.
- DEMAZEAU, Y. & MULLER, J. 1990. *Decentralised artificial intelligence*. Editeur Elsevier Science.
- DIJKSTRA, E.W. 1959. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 269-271.
- DISSER, Y., MULLER, M. & SCHNEE, M. 2008. Multi-Criteria Shortest Paths in Time-Dependent Train Networks. *7th Workshop on Experimental Algorithms, Lecture Notes in Computer Science*, 347-361.
- DONIEC, A. 2006. *Doniec. Prise en compte des comportements anticipatifs dans la coordination multi-agent : application à la simulation de trafic en carrefour*. Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, France.
- EL AGHA, M. & ASHOUR, W.M. 2012. Efficient and Fast Initialization Algorithm for K-means Clustering. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 4, 21-31.
- FERBER, J. 1995. *Les Systèmes Multi-Agents vers une intelligence collective*. Editeur InterEditions.
- FLEISCHER, L. & SKUTELLA, M. 2002. The quickest multicommodity flow problem. In: SCIENCE, L. N. I. C., *9th Conference on Integer Programming and Combinatorial Optimization (IPCO'02)*. Combridge, Etats-Unis. Springer, 36-53.
- FLEISCHER, L. & SKUTELLA, M. 2003. Minimum cost flows over time without intermediate storage. *ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA 2003)*. Louisiane, Etats-Unis. 66-75.
- FLEISCHER, L. & TARDOS, E. 1998. Efficient continuous-time dynamic network flow algorithms. *Operations Research Letters*. 23, 71-80.
- FLEURY, R. 2005. *Les cahiers du programmeur*. Edition Eyrolles.
- FLOYD, R.W. 1962. Algorithm 97: Shortest Path. *Communications of the ACM* 5. 6, 345.

## Références bibliographiques et webographiques

- FLOREZ-MENDEZ, RA. 1999. Towards a Standardization of Multi-Agent System Frameworks. *ACM Crossroads Student Magazine, Canada*.
- FORD, LR. & FULKERSON, DR. 1958. Constructing maximal dynamic flows from static flows. *Operations Research*. 6, 419-433.
- FORD, LR. & FULKERSON, DR. 1962. *Flows in Networks*, Edition Université de Princeton.
- FORTUNE, SA. 1986. sweepline algorithm for Voronoi diagrams. *The second annual symposium on Computational geometry*. Etats-Unis, New York. 313-322.
- FOX, S. 1981. An organizational view of distributed systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 11, 70-80.
- GADE, K. 2010. A Non-singular horizontal Position representation, *The journal of navigation*. 63, 395-417.
- Gasser, LS. 1991. Social conceptions of knowledge and action: DAI foundations and open systems semantics, *Artificial intelligence*. 47, 107-138.
- GEIB, JM., GRANSART, C. & MERLE, P. 1997. *CORBA : des concepts à la pratique*. Edition Masson.
- GREEN, P. & SIBSON, R. 1978. Computing Dirichlet tessellations in the plane. *Computer Journal*. 21, 168-173.
- GREEN, S., HURST, L., NANGLE, B., CUNNINGHAM, P., SOMERS, F. & EVANS, R. 1997. *Software agents: A review*. Rapport de la compagnie broadcom eireann research ltd. Irlande.
- GROSZ, BJ. & SIDNER, C. 1990. *Plans for discourse*, Editeur MIT Press.
- HAMERLY, G. & ELKAN, C. 2003. Learning the K in k-means. *17th Annual conference on Neural information processing systems*. Combridge, Etats-Unis.
- HORLING, B., MAILLER, R., SHEN, J., VINCENT, R. & LESSER, V. 2003. Using Autonomy, Organizational Design and Negotiation in a Distributed Sensor Network. *Kluwer Academic Publishers*. 139-183.
- HORLING, B. & LESSER, V. 2005. *A Survey of Multi-Agent Organizational Paradigms*. Rapport du Departement d'informatique : Université du Massachusetts.
- HUISMAN, D., FRELING, R. & WAGELMANS, APM. 2002. *A Dynamic Approach to Vehicle Scheduling*. Rapport de l'Institut économique, Université Erasmus, Rotterdam, Pays-Bas.
- ISHIDA, L., GASSER, L. & YOKOO, M. 1992. Organization selfdesign of distributed production systems. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 4, 123-134.
- JENNINGS, N. & WOOLDRIDGE, M. 1996. Software Agents. *IEEE Review*, 17-20.
- KAMOUN, MA. 2007. *Conception d'un système d'information pour l'aide au déplacement multimodal: Une approche multi-agent pour la recherche et la composition des*

## Références bibliographiques et webographiques

- itinéraires en ligne*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lille et l'Université des Sciences et Technologies, Lille.
- KAOHLER, E., LANGKAU, K. & SKUTELLA, M. 2002. Time expanded graphs for flow-dependent transit times. *SCIENCE, L.N.I.C., ed. Algorithms ESA'02*. Springer, 599-611.
- KAUFMAN, DE. & SMITH, RL. 1993. Fastest Paths in Time-Dependent Networks for Intelligent Vehicle-Highway Systems Application. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. 1, 1-11.
- KHALED, IB., KAMOUN, MA., ZIDI, K. & HAMMADI, S. 2005. Vers un système d'Information Voyageur Multimodal (SIM) à base de Système Multi Agent (SMA). *Revue de l'électricité et de l'électronique*. 1, 41-45.
- KOESTLER, A. 1967. *The Ghost In The Machine*, Edition Hutchinson Publishing Group.
- LAÏCHOUR, H. 2002. *Modélisation mutli-agent et aide à la décision : application à la régulation des correspondances dans les réseaux de transport urbain* Thèse de doctorat, Université des sciences et technologies de Lille. France.
- LIKAS, A., VLASSIS, NA. & VERBEEK, JJ. 2003. The global k-means clustering algorithm. *Pattern Recognition*. 36, 451-461.
- LIU, W. 2003. *Conception / Réalisation d'un serveur de données pour favoriser les échanges d'informations normalisés sur les transports collectifs*. Mémoire de D.E.A, Ecole nationale des ponts et chaussées. France.
- MANDIAU, R., STRUGEON, EGL. & AGIMONT, G. 1999. Study of the influence of organizational structure of the efficiency of a multi-agent system. *Networking and Information Systems Journal*. 2, 153-179.
- MCLAUGHLIN, B. 2001. *Java & XML 2nd Edition*. Edition O'Reilly.
- MCQUEEN, J. 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. 281-297.
- MELLITI, T. 2004. *Interopérabilité des services Web complexes. Application aux systèmes multi-agents*. Thèse de doctorat , Université de Paris IX Dauphine. France.
- MITCHELL, T. M. 1997. *Machine Learning International Edition*. Edition McGraw-Hill.
- NISBET, R., ELDER, J. & MINER, G. 2009. *Handbook of Statistical Analysis & Data Mining Applications*. Edition Academic Press.
- OKABE, A., BOOTS, B., SUGIHARA, K. & NOK CHIU, S. 2000. *Spatial Tessellations – Concepts and Applications of Voronoi Diagrams. 2nd edition*, John Wiley.
- ORDA, A. & ROM, R. 1990. Shortest-Path and Minimum Delay Algorithms in Networks with Time-Dependent Edge-Length. *ACM Journal of Experimental Algorithmics*. 37, 607-625.
- ORDA, A. & ROM, R. 1991. Minimum weight paths in time-dependent networks. *Networks*. 21, 295-319.

## Références bibliographiques et webographiques

- ORTEGA, M & DUMOULIN, N. 2011. *Mémoire : Projet de Graphe*. Licence d'informatique, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand. France.
- PAJOR, T. 2009. *Multi-Modal Route Planning*. Thèse de Master, Université de Karlsruhe, Allemagne.
- PANG-NING, T., STEINBACH, M. & KUMAR, V. 2005. *Introduction to Data Mining*. Edition Relié.
- PELLEG, D. & MOORE, A. 2000. X-means: Extending K-means with efficient estimation of the number of clusters. *17th International Conference on Machine Learning*. San Francisco, Etats-Unis. 727-734.
- PERREAU, C. 2002. *Les Systèmes d'Information Multimodale*. Thèse de doctorat, Institut d'Etudes Politiques de Paris, France.
- PETIT-ROZE, C., ANLI, A., GRISLIN-LESTRUGEON, E., ABED, M. & USTER, G. 2004. Système d'information transport personnalisée à base d'agents logiciels. *Revue Génie Logiciel*, 70, 29-38.
- PRUITT, D. 1981. *Negotiation Behavior*, Edition Academic Press.
- PYRGA, E., SCHULZ, F., WAGNER, D. & ZAROLIAGIS, C. 2003. Towards realistic modeling of time-table information through the time-dependent approach. *3rd Workshop on Algorithmic Methods and Models for Optimization of Railways (ATMOS 2003)*, Elsevier.
- PYRGA, E., SCHULZ, F., WAGNER, D. & ZAROLIAGIS, C. 2004. Experimental comparison of shortest path approaches for timetable information. *The 6th Workshop on Algorithm Engineering and Experiments*.
- PYRGA, E., SCHULZ, F., WAGNER, D. & ZAROLIAGIS, C. 2007. Efficient Models for Timetable Information in Public Transportation Systems. *ACM Journal of Experimental Algorithmics*, 12, Section 2.4.
- REDDY, D., JANA, PK. 2012. Initialization for K-means clustering using Voronoi diagram. *Procedia Technology*. 4, 395-400.
- ROMELAER 2002. Organization: A Diagnosis Method. Rapport numero 78 du Laboratoire Crepa. Université de Paris Dauphine IX, France.
- ROUSSEAU, JM. & BLAIS, JY. 1985. HASTUS: An interactive systems for buses and crew scheduling. *Computer Scheduling of Public Transport 2*. 45-60.
- RUSSELL, S. & NORVIG, P. 2003. *Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd ed.)*, Edition Prentice Hall.
- SCHULZ, F. 2005. *Timetable Information and Shortest Paths*. Thèse de doctrat, Université de Karlsruhe, Allemagne.
- SCHULZ, F., WAGNER, D. & WEIHE, K. 1999. Dijkstra's Algorithm On-Line: An Empirical Case Study from Public Railroad Transport. *3rd International Workshop on Algorithm Engineering*. Lecture Notes in Computer Science.

- SCHULZ, F., WAGNER, D. & ZAROLIAGIS, C. 2002. Using Multi-Level Graphs for Timetable Information in Railway Systems. *Lecture Notes in Computer Science*. 2409, 43-59.
- SHAMOS, M. I. 1975. *Computational Geometry*. Thèse de doctorat. Université du Yal. Etats-Unis.
- SHU-XI, W. 2012. The Improved Dijkstra's Shortest Path Algorithm and Its Application. *Procedia Engineering*. 29, 1186–1190.
- SLIMANI, H., NAJJAR, F. & NAJJAR, Y. 2011. Voronoi-Neighboring Regions Tree for Efficient Processing of Location Dependent Queries. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 33, 101-119.
- SYCARA, K. 1998. Multiagent systems. *AI Magazine*. 19, 79-92.
- TAMBE, M. 1997. Towards exible teamwork. *Journal of Artificial Intelligence Research*. 7, 83-124.
- WEISS, G. 2000. *Multiagent Systems, A Modern Approach to distributed Artificial Intelligence*, Edition The MIT Press.
- WELLMAN, M. 2004. *Online marketplaces*. Edition Chapman Hall & CRC Press.
- XU, MH., LIU, YQ., HUANG, QL., ZHANG, YX. & LUAN, GF. 2007. An improved Dijkstra's shortest path algorithm for sparse network. *Applied Mathematics and Computation*. 185, 247–254.
- YADGAR, O., KRAUS, S. & ORTIZ, C. 2003. *Scaling up distributed sensor networks: cooperative large-scale mobile-agent organizations*, Edition Kluwer.
- ZGAYA, H. 2007. *Conception et optimisation distribuée d'un système d'information d'aide à la mobilité urbaine : Une approche multi-agent pour la recherche et la composition des services liés au transport*. Thèse de doctorat, Université de Lille. France.
- ZHANG, B., HSU, M. & DAYAL, U. 1999. K-Harmonic Means - A Data Clustering Algorithm. Rapport du Software Technology Laboratoire. Palo Alto, Etats-unis.
- ZHANG, R. & RUDNICKY, AI. 2002. A large scale clustering scheme for kernel k-means. *16th International Conference on Pattern Recognition IEEE*. Quebec, Canada. 289-292.
- ZIDI, K. 2005. *Système Interactif d'Aide au Déplacement Multimodal (SIADM)*. Thèse de doctorat, Université de Lille.
- ZIDI, K. & HAMMADI, S. 2005. DMAS: Distributed Multi-Agents System for assist users in the multimodal travels. *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM 2005)*. Marrakech, Maroc.
- ZIEGELMANN, M. 2001. *Constrained Shortest Paths and Related Problems*. Thèse de doctorat, Université de la Sarre. Allemagne.

# Annexe 1

## Annexe 1

Nous présentons dans ce qui suit quelques captures d'écrans du fonctionnement du système que nous avons mis en place.



Figure 1 Interface principale de notre application

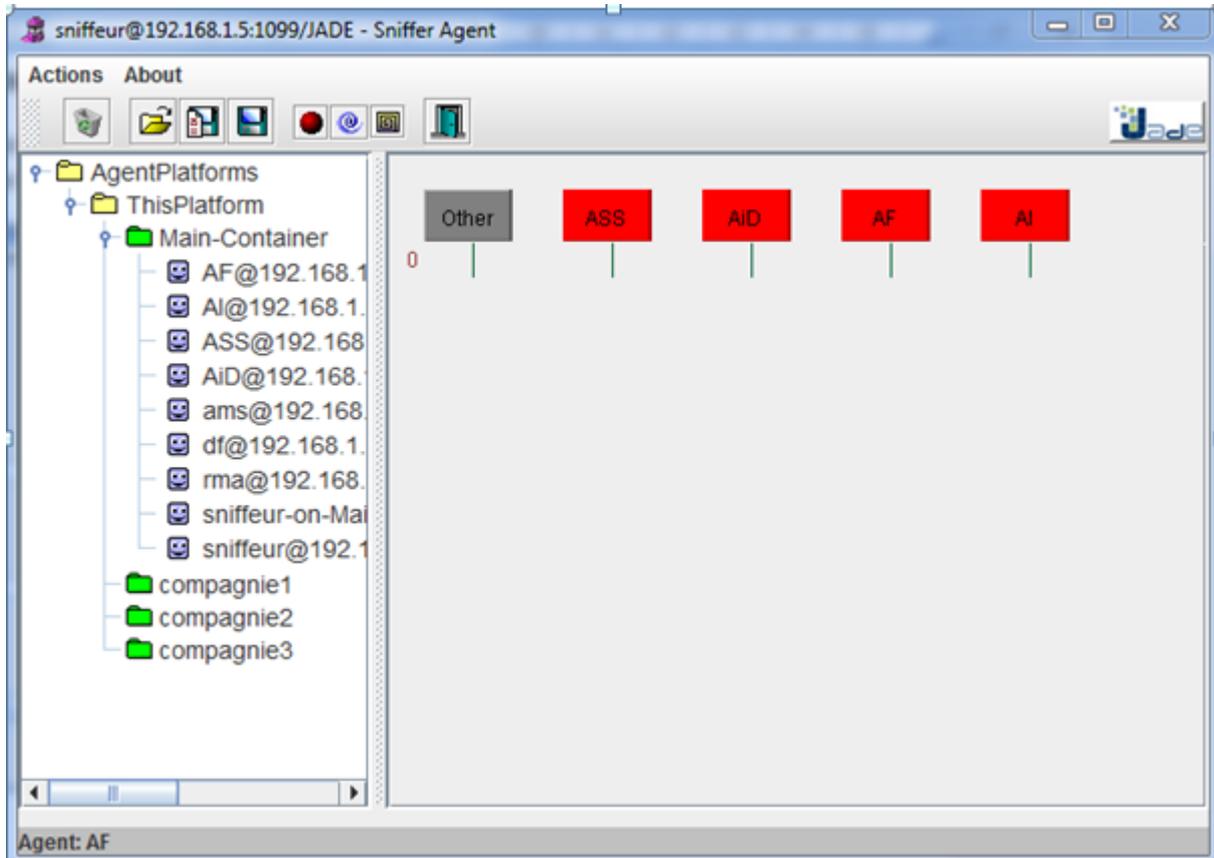


Figure 2 Lancement des agents responsables de la gestion de notre application

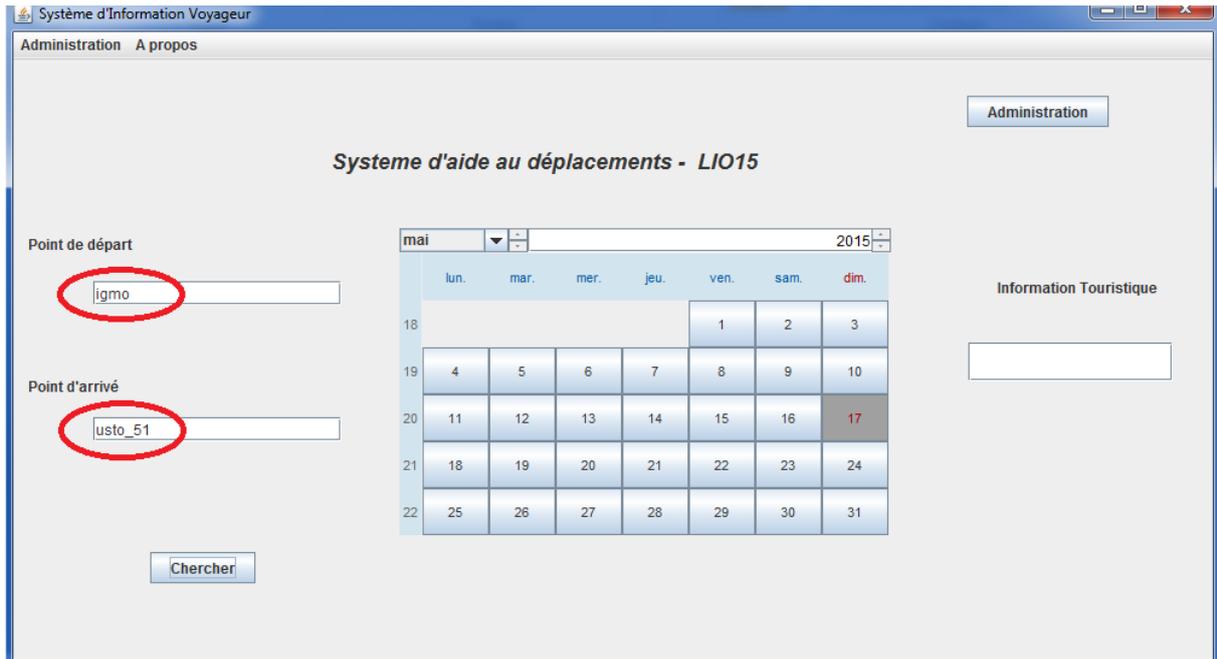


Figure 3 Introduction de deux stations (départ et arrivée)

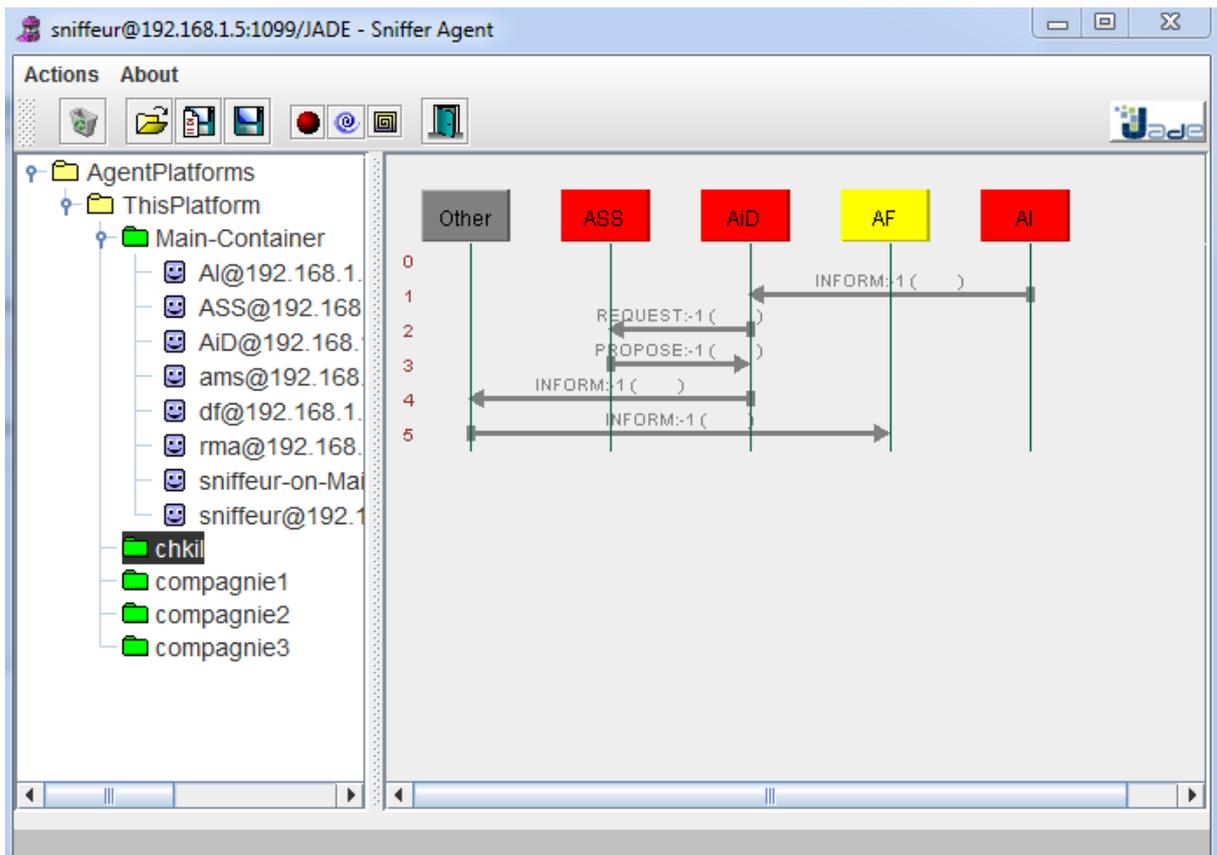


Figure 4 Interaction entre les agents lors du traitement d'une requête d'itinéraire

# Annexe 1

Administration A propos

Administration

### Systeme d'aide au déplacements - LIO15

Point de départ :

Point d'arrivé :

mai							2015
	lun.	mar.	mer.	jeu.	ven.	sam.	dim.
18					1	2	3
19	4	5	6	7	8	9	10
20	11	12	13	14	15	16	17
21	18	19	20	21	22	23	24

Information Touristique

---

rch Results Output - parfait (run)

```

:sender ( agent-identifiant :name AM@192.168.1.5:1099/JADE :addresses (sequence http://Zed-7778/acc ))
:receiver ( set ( agent-identifiant :name AF@192.168.1.5:1099/JADE ) )
:contant "--igmo-enset-inessm-palmiers-cherfaoui-central-jardin_u--jardin_51-hamri1-hamri2-cnas-wilaya1-wilaya2-gambetta_51-cavegay_51-hlm_51-morchi
igmo-enset-inessm-palmiers-cherfaoui-central-jardin_u--jardin_51-hamri1-hamri2-cnas-wilaya1-wilaya2-gambetta_51-cavegay_51-hlm_51-morchi
http://127.0.0.1:8888/site?variable=igmo-enset-inessm-palmiers-cherfaoui-central-jardin_u--jardin_51-hamri1-hamri2-cnas-wilaya1-wilaya2-gamb
AF : le message envoye par le mobileigmo-enset-inessm-palmiers-cherfaoui-central-jardin_u--jardin_51-hamri1-hamri2-cnas-wilaya1-wilaya2-ga

```

Figure 5 Présentation de l'itinéraire final

Calculer l'itinéraire

The map displays a route starting at point B (Marchand) and ending at point A (Residence Universitaire). The route is highlighted in yellow and blue, passing through several streets including Avenue Djellal, Rue Capitaine Hamri, Rue Ali Dziri, Rue Benouis Kadda, Rue Bouaïem Mohamed, Rue Drari Simane, Rue Asni Akeb, Rue Sahli Houari, Rue du Pain Blanc, and Boulevard Peripherique. Landmarks such as the Grande Mosquée Abdelhamid Ibn Badis and the Résidence Universitaire pour garçons are also visible.

Figure 6 Schématisation de l'itinéraire requis via l'API Google Map

# Annexe 2

**Annexe 2**

Les tableaux suivants présentent les nombre de nœuds invoqués selon le nombre de cluster et le type des stations d'initialisation.

**Nombre de Cluster : 3**

**Type de stations d'initialisation : Forte densité**

**Distance approximative du voyage : 5100 m**

**Itinéraire : Gambetta - DarHayet**

<b>Itinéraire</b>	<b>Nombre nœuds</b>
A11 : Gambetta-Belair-Wilaya-Casoran-Ism-Centrale-DarHayet	54 nœuds

**Nombre de Cluster : 3**

**Type de stations d'initialisation : Moyenne densité**

**Distance approximative du voyage : 5100 m**

**Itinéraire : Gambetta - DarHayet**

<b>Itinéraire</b>	<b>Nombre nœuds</b>
A11 : Gambetta-Belair-Wilaya-Casoran-Ism-Centrale-DarHayet	76 nœuds
<b>A11</b> : Gambetta-Tanjaoui-Lotfi-( <b>A51</b> )-Wilaya-Casoran-Ism-Centrale-DarHayet	87 nœuds

**Nombre de Cluster : 3**

**Type de stations d'initialisation : Faible densité**

**Distance approximative du voyage : 5100 m**

**Itinéraire : Gambetta - DarHayet**

<b>Itinéraire</b>	<b>Nombre nœuds</b>
<b>A11</b> : Gambetta-Belair-Wilaya-Casoran-Ism-Centrale-DarHayet	112 nœuds
<b>A11</b> : Gambetta-Tanjaoui-Lotfi-( <b>A51</b> , )-Wilaya-Casoran-Ism-Centrale-DarHayet	112 nœuds

Annexe 2

<b>A11</b> : Gambetta-Tanjaoui-Lotfi-Miramar-Soumam-Pasteur-Place1Nov-( <b>AU</b> )-Maata-NvellViille-DarHayet	112 nœuds
<b>A11</b> : Gambetta-Tanjaoui-Lotfi-Miramar-Soumam-Pasteur-Place1Nov-( <b>T</b> )-Maata-NvellVille-DarHayet	112 nœuds

**Nombre de Cluster** : 3

**Type de stations d'initialisation** : Forte densité

**Distance approximative du voyage** : 12000 m

**Itinéraire** : Usto - Igmo

<b>Itinéraire</b>	<b>Nombre nœuds</b>
<b>A51</b> : Usto-Marché-Nekkach-Hlm-Caveguy-Gambetta-Belair-Wilaya-Casoran-Ism-DarHayet( <b>AU</b> )-Boulangier-Charfaoui-Palmiers-Enset-Igmo-	102 nœuds
A11 : Usto-Marché-Nekkach-Hlm-Caveguy- Gambetta- - ( <b>A51</b> )Belair-Wilaya-Casoran-Ism-DarHayet( <b>AU</b> )-Boulangier-Charfaoui-Palmiers-Enset-Igmo-	102 nœuds

**Nombre de Cluster** : 3

**Type de stations d'initialisation** : Moyenne densité

**Distance approximative du voyage** : 12000 m

**Itinéraire** : Usto - Igmo

<b>Itinéraire</b>	<b>Nombre nœuds</b>
<b>A51</b> : Usto-Marché-Nekkach-Hlm-Caveguy-Gambetta-Belair-Wilaya-Casoran-Ism-DarHayet( <b>AU</b> )-Boulangier-Charfaoui-Palmiers-Enset-Igmo-	102 nœuds
A11 : Usto-Marché-Nekkach-Hlm-Caveguy- Gambetta- - ( <b>A51</b> )Belair-Wilaya-Casoran-Ism-DarHayet( <b>AU</b> )-Boulangier-Charfaoui-Palmiers-Enset-Igmo	102 nœuds

Annexe 2

A11 : Usto-Marché-Nekkach-Hlm-Caveguy-Gambetta- (A51,)Belair-Wilaya-Casoran-Ism-DarHayet(T)-Boulangier-Charfaoui-Palmiers-Enset-Igmo	112 nœuds
--	-----------

**Nombre de Cluster : 3**

**Type de stations d'initialisation : Faible densité**

**Distance approximative du voyage : 12000 m**

**Itinéraire : Usto - Igmo**

Itinéraire	Nombre nœuds
A51 : Usto-Marché-Nekkach-Hlm-Caveguy-Gambetta- Belair-Wilaya-Casoran-Ism-DarHayet(AU)-Boulangier-Charfaoui-Palmiers-Enset-Igmo-	112 nœuds
A11 : Usto-Marché-Nekkach-Hlm-Caveguy- Gambetta- -(A51,)Belair-Wilaya-Casoran-Ism-DarHayet(AU)-Boulangier-Charfaoui-Palmiers-Enset-Igmo	112 nœuds
A11 : Usto-Marché-Nekkach-Hlm-Caveguy- Gambetta- -(A51,)Belair-Wilaya-Casoran-Ism-DarHayet(T)-Boulangier-Charfaoui-Palmiers-Enset-Igmo	112 nœuds
A11 : Usto-Marché-Nekkach-Hlm-Caveguy- Gambetta- Tanjaoui-Lotfi-Miramar-Soumam-Pasteur-Place1Nov(T)Charfaoui-Palmiers-Enset-Igmo	112 nœuds

**Nombre de Cluster : 4**

**Type de stations d'initialisation : Forte densité**

**Distance approximative du voyage : 800 m**

**Itinéraire : Gambetta – Arcole**

Annexe 2

<b>Itinéraire</b>	<b>Nombre nœuds</b>
A11 : Gambetta-Poste-Arcole	30 nœuds
A51 : Gambetta-Poste-Arcole	30 nœuds

**Nombre de Cluster** : 4

**Type de stations d'initialisation** : Moyenne densité

**Distance approximative du voyage** : 800 m

**Itinéraire** : Gambetta - Arcole

<b>Itinéraire</b>	<b>Nombre nœuds</b>
A11 : Gambetta-Poste-Arcole	53 nœuds
A51 : Gambetta-Poste-Arcole	53 nœuds

**Nombre de Cluster** : 4

**Type de stations d'initialisation** : Faible densité

**Distance approximative du voyage** : 800 m

**Itinéraire** : Gambetta - Arcole

<b>Itinéraire</b>	<b>Nombre nœuds</b>
A11 : Gambetta-Poste-Arcole	112 nœuds
A51 : Gambetta-Poste-Arcole	112 nœuds

**Nombre de Cluster** : 4

**Type de stations d'initialisation** : Forte densité

**Distance approximative du voyage** : 5100 m

**Itinéraire** : Hlm - Sebbah

<b>Itinéraire</b>	<b>Nombre nœuds</b>
<b>A11</b> : Hlm-Morchid-Nekkach-Marché-CiteF-Usto-Yasmine-Sebbah	65 nœuds

Annexe 2

<b>A51</b> : Hlm-Morchid-Nekkach-Marché-CiteF-Usto-Yasmine-Sebbah	65 nœuds
---	----------

**Nombre de Cluster** : 4

**Type de stations d'initialisation** : Moyenne densité

**Distance approximative du voyage** : 5100 m

**Itinéraire** : Hlm - Sebbah

<b>Itinéraire</b>	<b>Nombre nœuds</b>
<b>A11</b> : Hlm-Morchid-Nekkach-Marché-CiteF-Usto-Yasmine-Sebbah	87 nœuds
<b>A51</b> : Hlm-Morchid-Nekkach-Marché-CiteF-Usto-Yasmine-Sebbah	87 nœuds
<b>A51</b> : Hlm-Morchid-Nekkach-T-Carrefours3Cliniques-CitéUSTO-Hopital1Nov-UniversitUsto-Bdpepiniere-Yasmine-Seebbah	102 nœuds
<b>A11</b> : Hlm-Morchid-Nekkach-T-Carrefours3Cliniques-CitéUSTO-Hopital1Nov-UniversitUsto-Bdpepiniere-Yasmine-Seebbah	102 nœuds

**Nombre de Cluster** : 4

**Type de stations d'initialisation** : Faible densité

**Distance approximative du voyage** : 5100 m

**Itinéraire** : Hlm - Sebbah

<b>Itinéraire</b>	<b>Nombre nœuds</b>
<b>A11</b> : Hlm-Morchid-Nekkach-Marché-CiteF-Usto-Yasmine-Sebbah	112 nœuds
<b>A51</b> : Hlm-Morchid-Nekkach-Marché-CiteF-Usto-Yasmine-Sebbah	112 nœuds

Annexe 2

<b>A51</b> : Hlm-Morchid-Nekkach-T-Carrefours3Cliniques-CitéUSTO-Hopital1Nov-UniversitUsto-Bdpepiniere-Yasmine-Seebbah	112 nœuds
<b>A11</b> : Hlm-Morchid-Nekkach-T-Carrefours3Cliniques-CitéUSTO-Hopital1Nov-UniversitUsto-Bdpepiniere-Yasmine-Seebbah	112 nœuds

**Nombre de Cluster** : 4

**Type de stations d'initialisation** : Forte densité

**Distance approximative du voyage** : 12000 m

**Itinéraire** : Seebah - Igmo

<b>Itinéraire</b>	<b>Nombre nœuds</b>
Seebbah- Yasmine-Bdpepiniere-UniversitUsto-Hopital1Nov-CitéUSTO-Carrefours3Cliniques- <b>51</b> - Hlm-Caveguy-Gambetta- Belair-Wilaya-Casoran-Ism-DarHayet(AU)-Boulangier-Charfaoui-Palmiers-Enset-Igmo-	112 nœuds

**Nombre de Cluster : 4**

**Type de stations d'initialisation : Moyenne densité**

**Distance approximative du voyage : 12000 m**

**Itinéraire : Sebbah - Igmo**

Itinéraire	Nombre nœuds
T-Seebbah- Yasmine- Bdpepiniere- UniversitUsto- Hopital1Nov- CitéUSTO- Carrefours3Cliniques- <b>51</b> - Hlm- Caveguy-Gambetta- Belair- Wilaya-Casoran-Ism- DarHayet(AU)-Boulangier- Charfaoui-Palmiers-Enset- Igmo-	112 nœuds
T-Seebbah- Yasmine- Bdpepiniere- UniversitUsto- Hopital1Nov- CitéUSTO- Carrefours3Cliniques-PJustice- IbnBadis-Castors-Bentayeb- FMoulay-CoBenabderezzak- Sntf-EmirABK-Place1Nov- Mokrani- HouhaTlemcen- M'dineelDjadida- DarHayat- Psports-BDanp-HaiBadr- Othmania-Inessm-Enset-Igmo	112 nœuds
A11 : Usto-Marché- Nekkach-Hlm-Caveguy- Gambetta- -(A51,)Belair- Wilaya-Casoran-Ism- DarHayet(T)-Boulangier- Charfaoui-Palmiers-Enset-Igmo	112 nœuds

**Nombre de Cluster : 4**

**Type de stations d'initialisation : Faible densité**

**Distance approximative du voyage : 12000 m**

**Itinéraire : Sebbah - Igmo**

Itinéraire	Nombre nœuds
<b>A51</b> : Sebbah-Yasmine- Usto- Marché-Nekkach-Hlm- Caveguy-Gambetta- Belair- Wilaya-Casoran-Ism- DarHayet(AU)-Boulangier- Charfaoui-Palmiers-Enset- Igmo-	112 nœuds
<b>T</b> -Seebbah-Yasmine- Bdpepiniere- UniversitUsto- Hopital1Nov- CitéUSTO- Carrefours3Cliniques-PJustice- IbnBadis-Castors-Bentayeb- FMoulay-CoBenabderezzak- Sntf-EmirABK-Place1Nov- Mokrani- HouhaTlemcen- M'dineelDjadida- DarHayat- Psports-BDanp-HaiBadr- Othmania-Inessm-Enset-Igmo	112 nœuds
<b>T</b> -Seebbah- Yasmine- Bdpepiniere- UniversitUsto- Hopital1Nov- CitéUSTO- Carrefours3Cliniques- <b>11</b> - Hlm- Caveguy-Gambetta-Cherfaoui- Gambetta-Tanjaoui-Lotfi- Miramar-Soumam-Pasteur- Place1Nov- <b>T</b> -Mokrani- HouhaTlemcen- M'dineelDjadida- DarHayat- Psports-BDanp-HaiBadr- Othmania-Inessm-Enset- IgmoDarHayet( <b>T</b> )-Boulangier- Charfaoui-Palmiers-Enset-Igmo	112 nœuds