

Système d'information voyageur à base d'agent pour la recherche d'itinéraires multimodaux

Youcef Belguetiel

Département d'informatique, Université Mohamed Boudiaf, BP 1583 RP
M'sila, 28000 Algérie, Bel_you28@yahoo.fr

Ramdane Maamri

Laboratoire Lire, département d'informatique, université Mentouri,
Route Ain Elbey, Constantine, 25000 Algérie, Rmaamri@yahoo.fr

Résumé

Avec le développement des technologies de l'information et de communication, les chercheurs et les industriels s'intéressent à l'amélioration de la qualité de service offert aux usagers du transport en commun. Il s'agit essentiellement d'améliorer la qualité de l'information de transport en termes de facilité d'accès, de disponibilité et d'efficacité, pour aider les clients à se déplacer moyennant un système d'information voyageur. Dans cette optique, nous appuyant sur la théorie multi-agents, notre travail, qui vise à concevoir un système d'information voyageur d'aide au déplacement multimodal, a pour but d'utiliser une approche de composition des services web pour calculer l'itinéraire le plus court en termes de coût, de temps de parcours et de confort en vue d'offrir une assistance les voyageurs.

Abstract

With the development of information and communications technology, **researchers and industrialists are interested to improve the quality of service** provided to public transportation users. It is essentially a question of improving the quality of transport information in term of access, facility, availability, and efficiency and of helping customers to move to an information system traveler. In this context, founded on multi-agents, the aim of our project is to design a Traveler Information System supporting the multimodal movement, and more specifically to calculate the shortest route in term of cost, of time (weather) of crosses (goes through) and of comfort, to assist the travellers by using a new approach of Web services composition.

Mots-clés

système d'information, information multimodale, système multi-agent, transport multimodal, aide au déplacement

Keywords

information systems, multimodal information, multi-agent, multimodal transport

1 Introduction

Un client du transport multimodal souhaite avoir à disposition une information sur l'offre de déplacements et sur les itinéraires respectant ses critères. La recherche de cette information et la composition d'itinéraire peuvent se faire par le client lui-même. Cela nécessite une forte connaissance sur l'offre de transport, de différents sites d'information des opérateurs des réseaux de transport ainsi qu'une disponibilité de la part du client et une maîtrise de l'outil informatique. Pour éviter cette tâche fastidieuse de recherche, de mémorisation des différentes éventualités, de combinaison de différents moyens de transport et pour l'aider dans cette démarche de prise de décision, nous proposons un système qui aide les passagers à formuler

leurs requêtes de recherche d'itinéraire et à planifier leur déplacement. Il s'agit de fournir toute information utile et pertinente sur les différents modes de déplacement, afin d'une part d'améliorer le confort et l'efficacité des trajets à un niveau individuel, et d'autre part de favoriser l'usage multimodal et raisonné des différents modes de transport à l'échelle collective (Uster, 2004).

Dans la suite de cet article, nous présentons les problèmes de déplacement des voyageurs (problématique) présenté dans la section 2. La section 3 présente la configuration du réseau de transport, puis la section 4 expose l'architecture du système proposé. La section 5 explique les différents algorithmes utilisés dans notre système et la normalisation des critères de déplacement. Nous terminons par une conclusion.

2 Problématique

La planification d'un déplacement par un client de réseaux de transports nécessite la consultation de plusieurs systèmes d'information d'aide au déplacement gérés par des opérateurs de transports en commun. Les systèmes d'information d'aide au déplacement pour le transport en commun existant sont généralement des systèmes monomodaux et offrent une information sur un seul moyen de transport. Il existe des systèmes d'information multimodaux qui offrent une information portant sur plusieurs modes de transport gérés par un même et seul opérateur. Ces systèmes restent limités géographiquement. Plusieurs exemples existent. Nous citons parmi la catégorie de systèmes monomodaux, Phebus de la Société de transport de Versailles et Solea pour le transport à Mulhouse et ses banlieues. Parmi les systèmes multimodaux se limitant à un même opérateur, nous citons le site Transpole, opérateur de la métropole lilloise, lePilote pour Marseille et ses banlieues, ou RATP pour la région de l'Ile-de-France.

Pour fédérer les projets et pour capitaliser les recherches et les expériences en termes d'information multimodale, le PREDIT, Programme de Recherche et de l'Innovation dans les Transports terrestres¹, a créé le PREDIM², une plate-forme de recherche et d'expérimentation pour le développement de l'information multimodale.

Parmi les projets qui concernent l'information multimodale, nous citons :

- Le projet INFOPOLIS qui vise à améliorer la qualité de l'information produite par les systèmes existants,
- Le projet ISCOM qui est un projet de développement de techniques multimédias pour diversifier les techniques de diffusion de l'information multimodale,
- le projet TRIDENT³ qui vise à assurer l'interopérabilité entre les systèmes monomodaux ou régionaux, par les techniques d'intégration et d'échange d'information en informatique, telles que XML ou les web services,
- le système allemand DELFI qui donne des solutions multimodales sans assurer le suivi des déplacements en cas de perturbation (Zidi, Hammadi *et al.*, 2004).

Afin d'éviter cette surcharge de consultation, notre travail vise à concevoir un Système d'Information Voyageur Multimodale (SIVM) pour l'aide au déplacement multimodal. Il s'agit d'automatiser cette démarche de recherche et de composition d'itinéraires, pour fournir une information multimodale via un système intégrateur, en s'appuyant sur la théorie des systèmes multi-agents (SMA) pour l'intégration et la médiation des systèmes d'information d'aide au déplacement de différents opérateurs de transport.

¹ www.predit.prd.fr

² www.predim.org

³ www.erfico.com/activiti/projects/trident/home.hm

La majorité des opérateurs de transport disposent d'un Système d'Information d'Aide au Déplacement, qui est généralement composé d'une base de données décrivant le réseau de transport de l'opérateur et un algorithme de calcul d'itinéraires (ACI). La base de données décrite à travers des informations statiques telles que toutes les lignes, les arrêts, les itinéraires et les horaires de changement, l'ensemble du réseaux et des services offerts à l'utilisateur. ACI utilise la base de données locale pour rechercher et trouver les itinéraires qui s'adaptent au mieux à la requête de l'utilisateur.

Pour produire l'information multimodale et afin de la composer à partir de plusieurs systèmes d'information d'aide au déplacement de différents opérateurs, il est nécessaire de procéder à une intégration de données (Figure 1). La stratégie d'intégration adoptée peut être :

- une intégration de données, localisées dans les différentes bases de données des différents opérateurs afin de constituer une base de données globale et centralisée.
- une intégration d'applications par la production et la composition de l'information multimodale à partir des résultats de plusieurs systèmes d'information d'aide au déplacement (SIADs) existants, interrogés automatiquement.

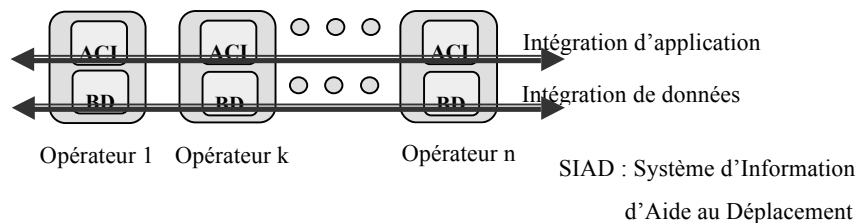


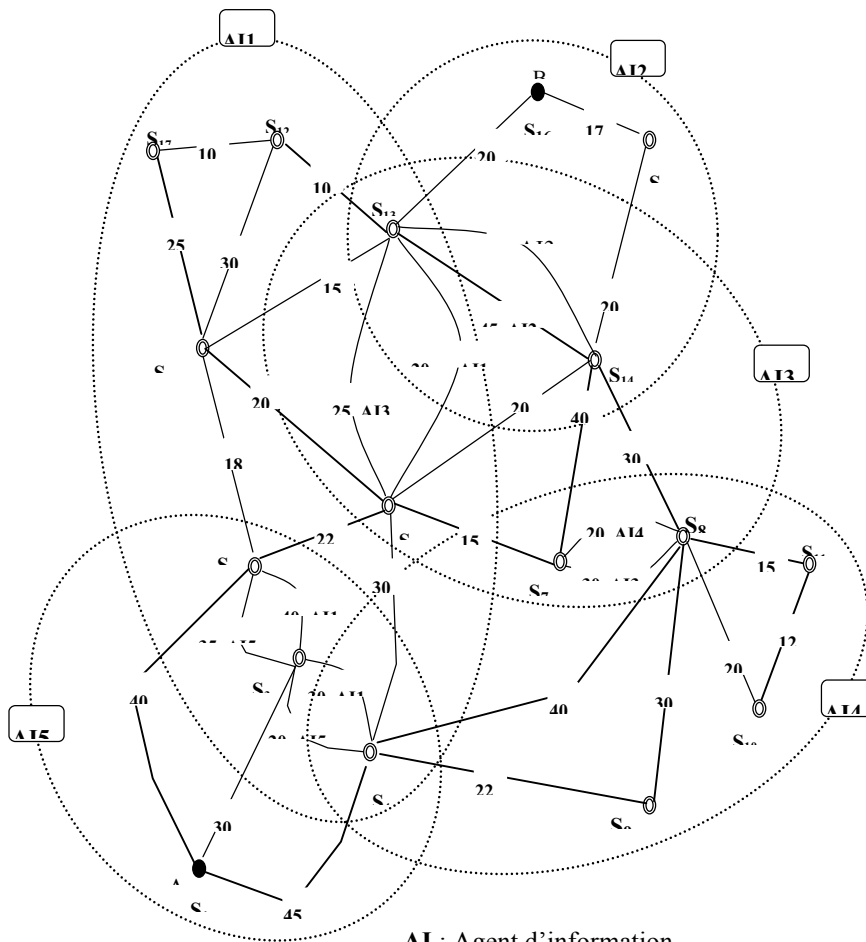
Figure 1. Stratégies d'intégration

Le SIVM devient alors l'intermédiaire entre les différentes sources d'information hétérogènes et distribuées d'une part et les clients d'autre part. Ce système doit être capable à la fois de trouver la bonne source d'information pour l'interroger selon les différentes requêtes des utilisateurs, et de regrouper les informations de manière cohérente pour répondre aux requêtes.

3 Configuration d'un réseau de transport multimodal

Le réseau de transport multimodal sur une vaste zone géographique ne peut être que la juxtaposition de plusieurs sous-réseaux régionaux (Figure 2) liés par des stations communes (pôles d'échanges).

Un réseau régional peut également réunir plusieurs réseaux départementaux et un réseau départemental, à son tour, peut réunir plusieurs réseaux de communes. Au niveau des départements et des communes, les liaisons des réseaux se fait par un ensemble de lignes de bus. Dans les agglomérations urbaines, la gestion du réseau est généralement associée à un opérateur qui exploite plusieurs modes de transport sur cette zone.



AI : Agent d'information.

S_i : Station i .

Le coût pondéré est calculé par la fonction d'agrégation f indiqué dans la paragraphe 5.1

Figure 2. Stratégies d'intégration

4 Architecture du système proposé

Afin de planifier des déplacements, nous proposons un système d'information voyageur multimodal SIVM (Figure 3) qui a pour rôle d'assister l'utilisateur de transport en commun dans l'organisation de ses déplacements en respectant ses critères (coût, temps de parcours, confort).

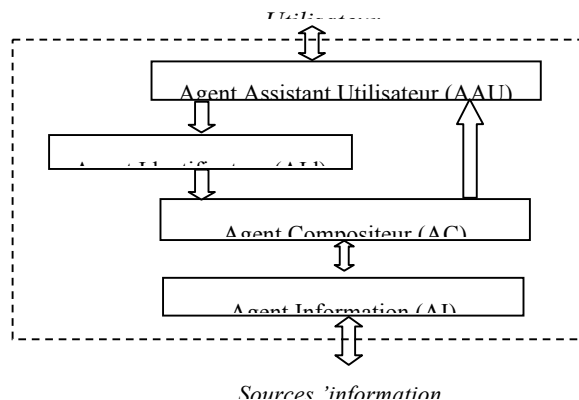


Fig 3 Architecture Multi-agent

Afin de concevoir ce système d'information multimodal, nous avons proposé une organisation multi-agents. Les systèmes multi-agents sont des ensembles d'entités autonomes nommées agents qui ont un comportement collectif afin d'atteindre une fonction désirée (Colline, 2003). Pour concevoir le SIVM, nous commençons par associer à chaque un système d'information d'aide au déplacement (SIAD) un opérateur de transport, et par conséquent, à chaque réseau de transport, un agent d'information AI (Figure 9). L'AI est un extracteur d'information à partir du SIAD. Pour ce faire, l'AI dispose en interne de l'adresse réseau (Internet ou autre) de ce SIAD, et des protocoles de communication qui lui permettront de lui envoyer des requêtes et d'en recevoir des réponses.

Un AI, comme le SIAD auquel il est associé, est capable de répondre à une requête

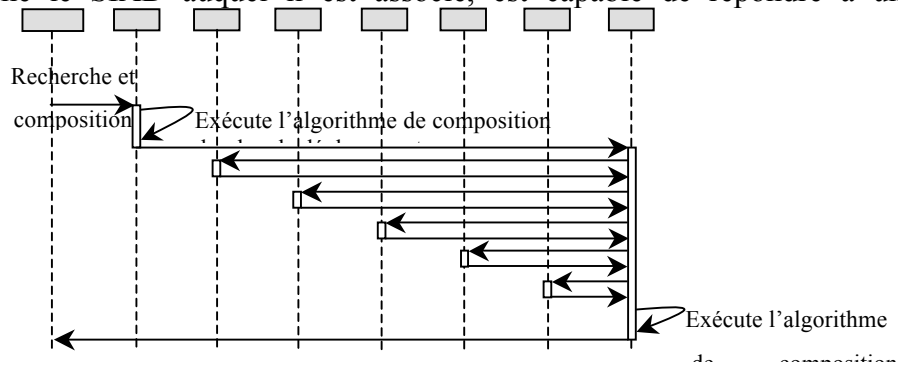


Fig.4. Diagramme de séquences d'interaction entre agents

d'itinéraire, du type aller de A vers B, si A et B sont des stations gérées par le même agent.

La composition et la recherche d'itinéraire seront affectées à un agent que nous appelons dans ce contexte, Agent Compositeur AC (Figure 8). Un agent AC est capable de composer une offre globale d'itinéraire en interrogeant différents AI en récupérant différentes offres locales.

L'AC ne dispose pas d'une vue globale de tous les AI du SIVM. En effet pour répondre à une requête donnée, l'AC n'est pas capable de déterminer un domaine de recherche, d'où l'intérêt d'un Agent Identificateur AIId (Figure 7). Ce dernier est capable de délimiter les domaines de recherche relatifs aux différentes requêtes. Ceci revient à leur envoyer l'ensemble des AI sélectionnés qui définissent ce domaine et l'ensemble des stations d'intersection.

Par ailleurs, nous associons ensuite à chaque utilisateur un Agent Assistant Utilisateur AAU (Fig.6) qui permettra à ce dernier de formuler sa requête et de recevoir les résultats.

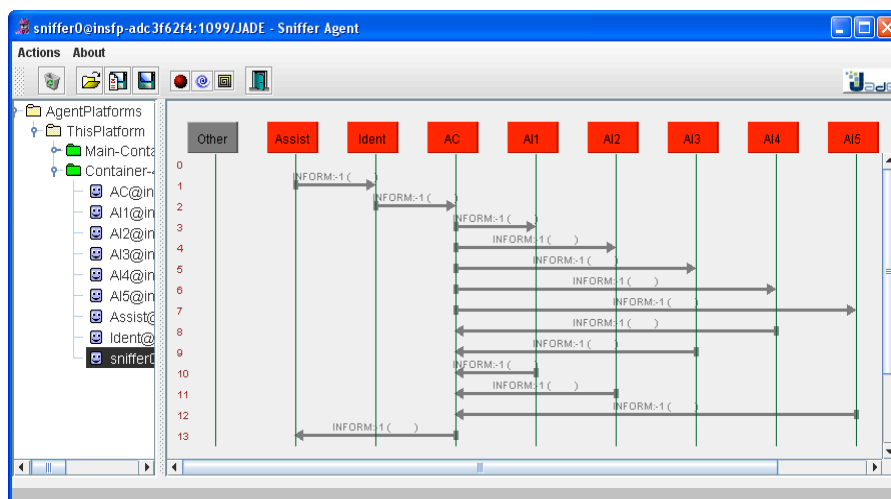


Fig 5. Messages échangés entre agents (Agent Sniffer)

Les interactions entre les agents pour rechercher et pour composer un itinéraire global sur un environnement distribué sont illustrées par le diagramme UML de séquences (Figure 4).

Pour le développement du SIVM et la simulation des résultats de nos approches de recherche et de composition d'itinéraires multimodaux, nous avons choisi la plateforme JADE (Java Agent Development Framework). JADE est une plateforme multi-agents qui offre la possibilité d'intégration des services Web (Greenwood, 2005), la communication entre les agents du SIVM capté par l'agent « sniffer » de la plate forme JADE est donnée par la figure suivante (Figure 5).

Suite à cette description du SIVM, nous abordons dans la suite la description du comportement propre à chaque agent. Cette description est illustrée par des diagrammes UML d'activités qui permettent de retracer leurs différents scénarii de fonctionnement.

4.1 Agent Assistant Utilisateur (AAU)

L'AAU permet à l'utilisateur du système de formuler sa requête et de préciser ses critères de recherche. En effet, quand il reçoit une requête de l'utilisateur, il la transmet à l'agent identificateur (AId), et attend la réponse. S'il s'agit d'un refus, il va demander à l'utilisateur de reformuler sa requête, sinon il lui présente les résultats.

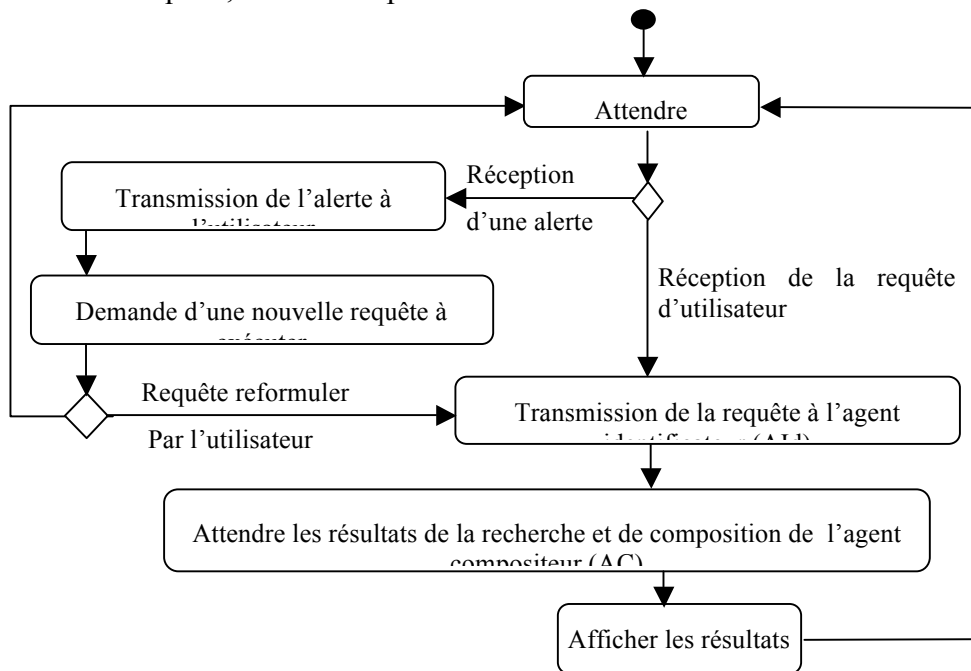


Fig.6. Comportement de l'agent AAU

4.2 Agent Identificateur (AId)

Cet agent décompose la requête reçue auprès de l'AAU pour identifier la station de départ et la station d'arrivée, puis applique l'algorithme de composition du plan de déplacement (présenté plus loin), pour trouver l'ensemble des agents qui doivent intervenir pour réaliser ce déplacement. C'est le graphe d'adjacence. L'Aid indique les stations communes existantes (pôles d'échanges) entre ces agents.

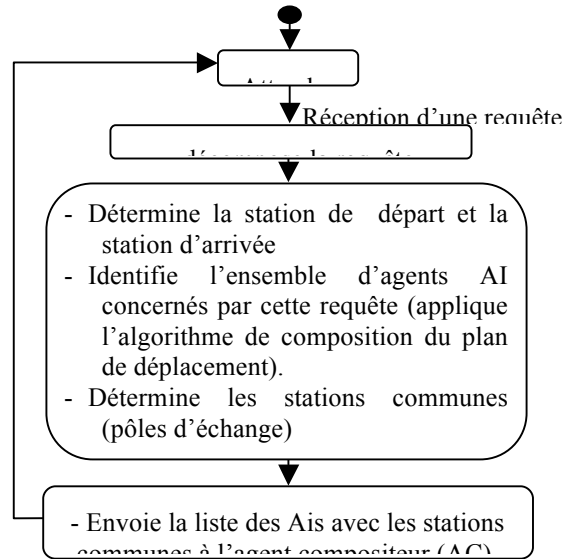


Fig.7. Comportement de l'agent AId

4.3 Agent Compositeur (AC)

A partir des résultats reçus par les AIs, l'agent AC compose le graphe de déplacement possible de la requête, puis lance l'algorithme qui calcule le plus court chemin, afin d'obtenir la (les) solution(s) possible(s), et la (les) transmettre à l'agent (AAU).

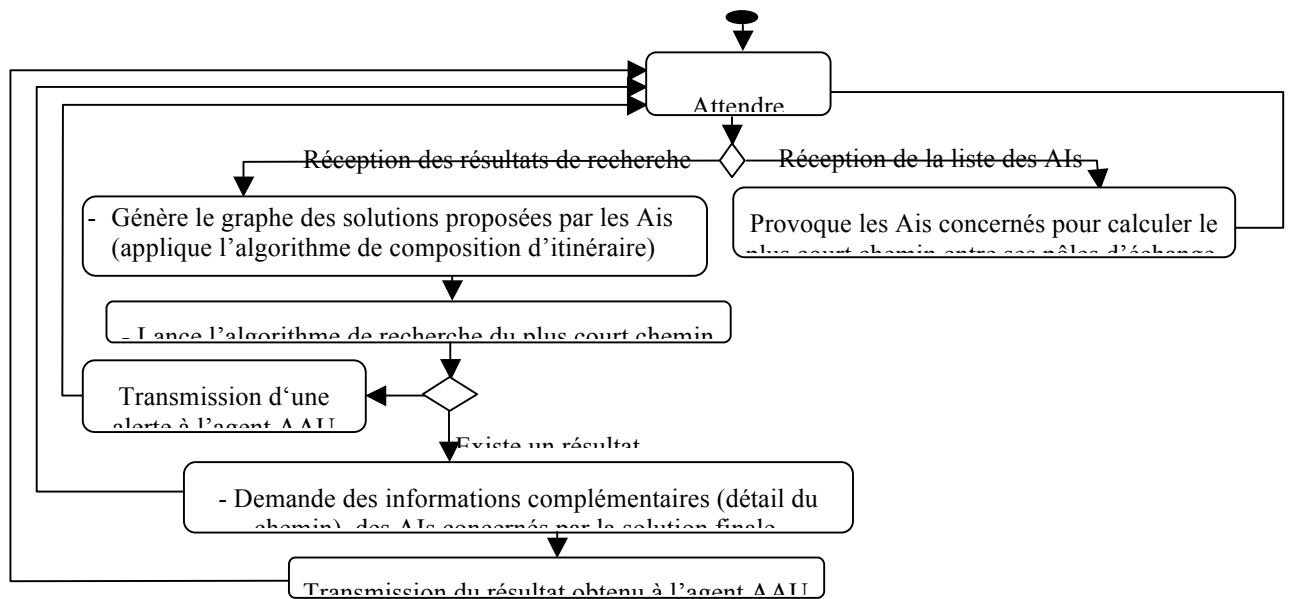


Fig.8. Comportement de l'agent AC

4.4 Agent Information (AI)

On associe à chaque système d'information d'aide au déplacement (SIAD) un agent qui se charge de l'extraction d'information à partir de SIAD associé. Pour ce faire, l'AI doit disposer en interne de l'adresse réseau (Internet ou autre) de ce SIAD, et des protocoles de communication qui lui permettront de lui envoyer des requêtes et d'en recevoir des réponses.

Chaque agent est responsable de son réseau de transport. En effet, l'AI récupère en premier les données auprès du SIAD correspondant et calcule ensuite le plus court chemin entre les pôles d'échanges dans sa zone après la normalisation des critères par l'application de la méthode d'agrégation (présentée plus loin). Le chemin partiel résultat est envoyé au AC. Ce chemin peut être le résultat de la requête, si le lieu de départ A et le lieu d'arrivée B sont des stations gérées par le même agent.

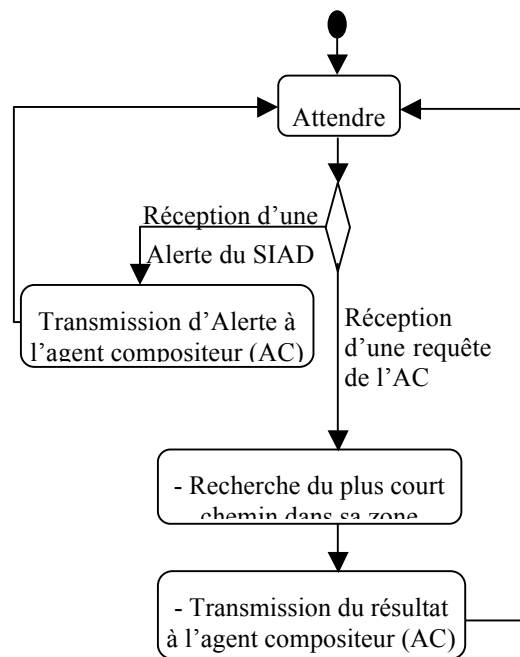


Fig.9. Comportement de l'agent AI

5 OPTIMISATION MULTICRITÈRES

Les problèmes de cheminement sont parmi les plus anciens de la théorie des graphes. Le problème le plus typique de cette catégorie est celui du plus court chemin. En effet, il est rencontré dans de nombreuses applications. L'algorithme le plus utilisé pour la recherche du plus court chemin est sans doute celui de Dijkstra (Meskine et Gendre 2001) (Lacomme, Prins *et al.*, 2003). Dans la littérature, l'algorithme de Dijkstra s'applique aux graphes pondérés avec une seule valeur non négatifs pour chaque arc. Dans ce sens, nous effectuons une normalisation des critères de déplacements présentés dans la section suivante.

5.1 Normalisation des critères

Notre objectif est d'aider l'utilisateur de transport en commun à optimiser ses déplacements selon plusieurs critères. Dans notre système, nous optimisons trois critères : le coût, le temps de parcours et le confort. Les utilisateurs de transport en commun cherchent souvent à les optimiser ensemble.

L'optimisation de ces critères est parfois difficile, parce que l'optimisation de l'un entraîne la dégradation de l'autre. Dans ce sens, nous utilisons une fonction d'agrégation f (Ben khaled, Kamoun *et al.*, 2005) qui calcule le coût de chaque arc du graphe du réseau. L'objectif est de minimiser le coût total du chemin qui représente la somme des coûts des arcs traversés. Les coefficients de pénalité sont calculés suivant le choix de l'utilisateur : il a le choix de favoriser un critère par rapport aux deux autres, ou bien de leur donner des importances égales.

$$f = \alpha * C_1 + \beta * C_2 + \delta * C_3$$

C_1 , C_2 et C_3 représentent les critères d'optimisation tels que le coût, le temps de parcours et le confort. C_1 est calculé par la formule suivante :

$$C_1 = \chi * \sum_{i=0}^z C_3^i * C_1^{ik}$$

Où

i représente les zones

C_3^i représente le coefficient de confort correspondant à la zone i

C_1^{ik} représente le prix de titre de déplacement dans la zone i en utilisant le mode k

$\chi_{\leq 1}$ représente le coefficient utilisé par les modes de transport pour le calcul du prix interzones

$$C_2 = \sum_{i=0}^p t_i^{m_i} + \sum_{j=0}^n T_{Att}^j$$

$t_i^{m_i}$ est le temps de parcours de l'arc i par le mode de transport m_i

T_{Att}^j est le temps d'arrêt dans la station j

$$C_3^i = i * \mu$$

Où i appartient à l'ensemble $\{1, 2, 3\}$ et μ dépend des exploitants du transport en commun.

Cette variable caractérise les classes existantes dans le transport en commun.

α , β et δ sont des coefficients de pénalité pour ces critères, leur somme est égale à 1. La fonction f ramène le problème d'optimisation multicritère à un problème d'optimisation monocritère.

5.2 Procédure de composition d'itinéraire

Aller d'une station A à une station B dans un RTE (Réseau de Transport Etendu) nécessite une coopération de plusieurs AIs. Notre système répond à la question « quels sont les AIs qui devraient coopérer pour réaliser le déplacement de A à B ? » en utilisant l'algorithme de composition du plan de déplacement. Il répond aussi à la question « comment faire coopérer les AIs ? » en utilisant l'algorithme de composition d'itinéraires.

5.2.1 Algorithme de composition du plan de déplacement

C'est l'algorithme utilisé par l'AId. Pour construire le plan de déplacement initial à partir d'une requête « aller de A vers B », l'algorithme détermine les agents qui peuvent intervenir ensemble pour réaliser ce déplacement. Cet algorithme est composé des deux étapes décrites ci-dessous.

1^{er} étape : l'agent AId détermine au départ quel est le AI_A qui correspond à la station de départ A et quel est le AI_B correspondant à la station d'arrivée B, puis teste si A et B ne sont pas gérés par le même AI. L'algorithme se poursuit par l'étape 2.

2^e étape : l'agent AId utilise le graphe d'adjacence (Figure 10) pour sélectionner les k plus petits groupes de collaboration capables de répondre. Ces groupes contiennent le minimum

d'agents pour minimiser le temps global de calcul de l'offre. Pour déterminer ces k groupes d'agents le AId applique l'algorithme classique de k plus courts chemins (Van Der Zijpp et Fiorenzo Catalano, 2005) qui s'applique sur les graphes évalués et positifs entre le sommet de départ (AI_A) et le sommet d'arrivée (AI_B). Dans notre cas, il s'agit de minimiser le nombre de sommets à impliquer dans ces k chemins.

Cet algorithme de k plus courts chemins, est fondé sur une heuristique de pénalité. Il applique l'algorithme Dijkstra pour calculer le plus court chemin, ensuite il modifie le graphe en imposant une augmentation des poids des arcs du plus court chemin. Il applique ensuite Dijkstra pour trouver le 2^{ème} plus court chemin, etc.

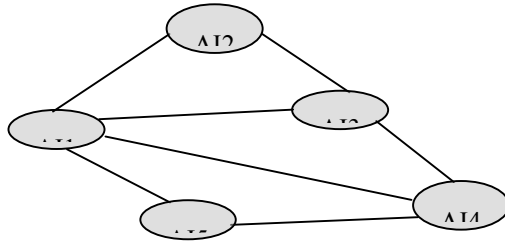


Fig.10. Graphe d'adjacence

Exemple : dans notre exemple (AI_5 : le sommet de départ ; AI_2 : le sommet d'arrivée).

Si $K=3$, nous obtenons des collaborations possibles définies par les ensembles $\{AI_5, AI_1, AI_2\}$, $\{AI_5, AI_1, AI_3, AI_2\}$, $\{AI_5, AI_4, AI_3, AI_2\}$

	AI_1	AI_2	AI_3	AI_4	AI_5
AI_1		$\{S_{13}\}$	$\{S_6, S_{13}\}$	$\{S_4\}$	$\{S_2, S_3, S_4\}$
AI_2	$\{S_{13}\}$		$\{S_{13}, S_{14}\}$	\emptyset	\emptyset
AI_3	$\{S_6, S_{13}\}$	$\{S_{13}, S_{14}\}$		$\{S_7, S_8\}$	\emptyset
AI_4	$\{S_4\}$	\emptyset	$\{S_7, S_8\}$		$\{S_4\}$

Le graphe d'adjacence est représenté dans l'agent AId par la matrice d'adjacence symétrique (Tableau 1) indiquant aussi les stations communes (pôles d'échange) correspondant à l'intersection des différents réseaux de transport impliqués.

5.2.2 Algorithme de Composition d'Itinéraires.

Cet algorithme de composition appliqué par l'agent compositeur AC se base principalement sur l'algorithme de Dijkstra distribué (Wang et Kaempke, 2004) pour calculer le plus court chemin de manière distribuée. Les étapes de cet algorithme décrites ci-dessous.

1^{er} étape : Construire le graphe d'intersection étendu $G_{int}(A ; B)$ (Figure11). Il s'agit du graphe des itinéraires possibles qui relient les stations A et B moyennant les stations communes, gérées par plusieurs AIs. Pour construire le graphe $G_{int}(A ; B)$, chaque AI intervient et relie les stations communes qui le concerne. Chaque agent fournit à l'AC

l'information qui concerne sa zone. En d'autres termes, étant donné (1) les sommets d'intersection, (2) les plus courts chemins entre ces stations, (3) les sommets A et B, l'agent compositeur AC construit le Gint (A ;B) moyennant un groupe d'agents (plan de déplacement initial) proposé par l'agent AId.

2^e étape : Une fois le graphe Gint (A, B) construit, l'AC applique l'algorithme de calcul du plus court chemin. Une fois ce chemin choisi (Figure 12), chaque AI, dont l'arc a été retenu est appelé à le détailler. L'AI décrit alors l'itinéraire qu'il propose, en termes de modes de transport à utiliser.

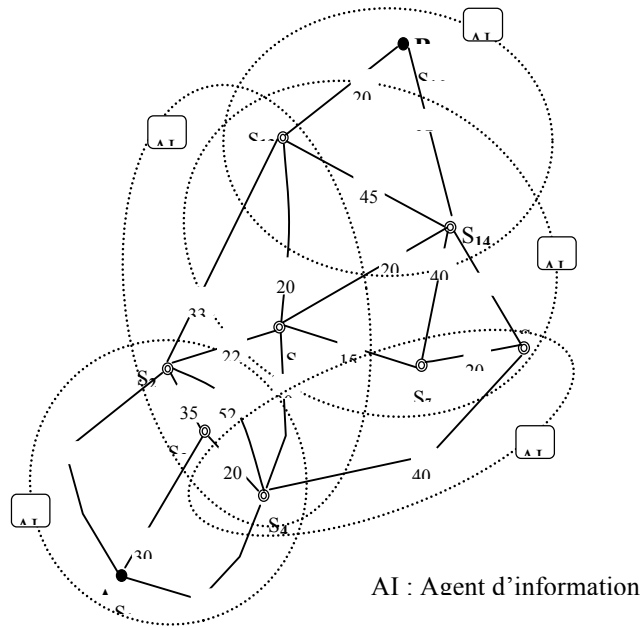


Fig.11. Graphe d'intersection Gint(A ; B)

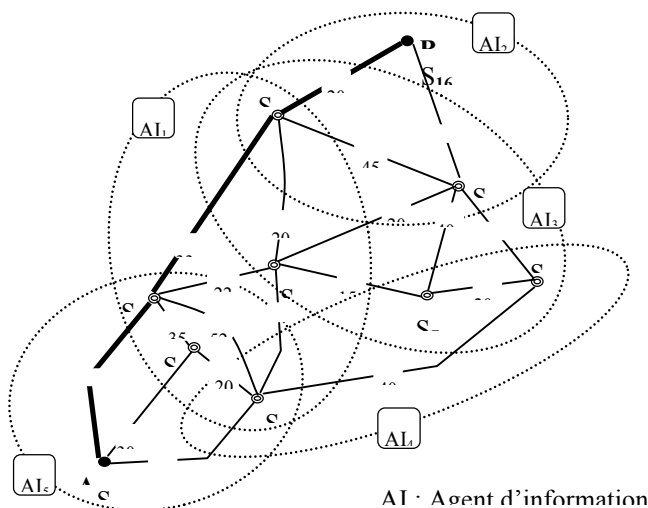


Fig.12. Plus court chemin sur le Gint(A ;B)

5.2.3 Scénario global de composition d'itinéraire

Le scénario global de composition d'itinéraire est illustré par le diagramme UML d'activités (Figure 13) :

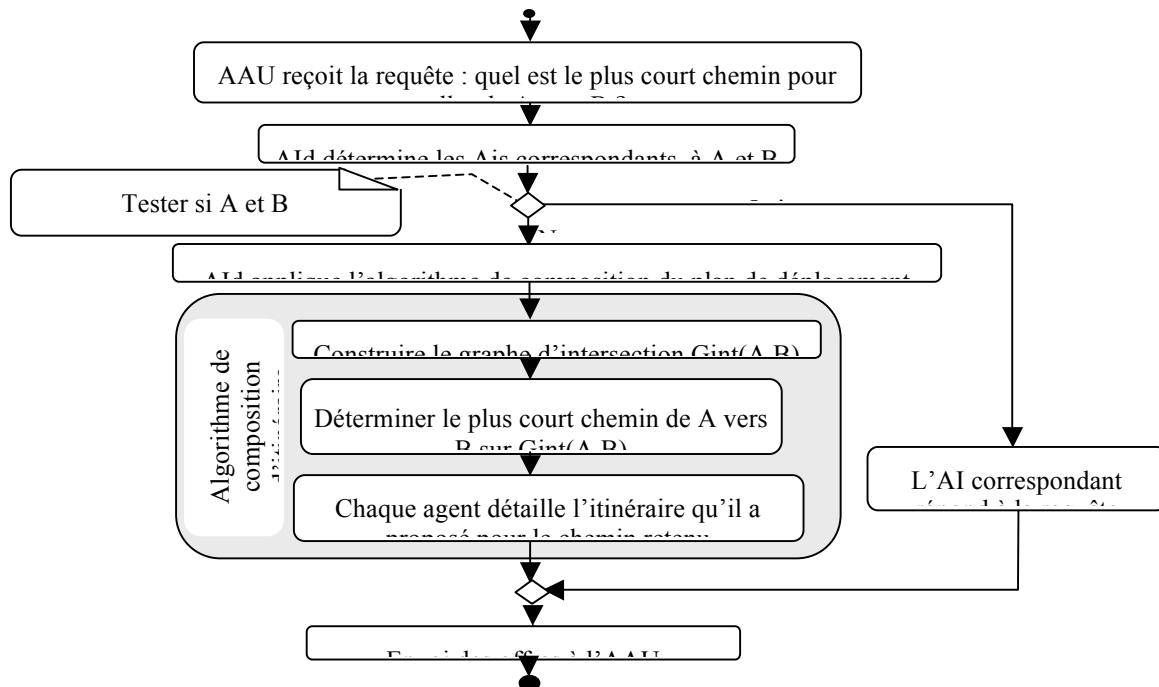


Fig.13. Scénario global de composition d'itinéraire

6 Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté un système d'information voyageur multimodal (SIVM) fondé sur l'approche multi agents. L'objectif de ce système est d'aider les voyageurs à organiser ou à planifier leurs déplacements. Ce système rend l'architecture plus flexible, et ouverte vers d'autres systèmes. Il suffirait de modifier les compétences de quelques agents pour adapter le système, à un nouveau besoin d'utilisateur, à un nouveau protocole de communication avec un fournisseur de données, ou à un nouvel algorithme de calcul d'itinéraire. Le système reste ainsi ouvert, pour inclure de nouveaux agents d'information. L'organisation multi-agents présentée assure la mise à jour de l'information. En effet, si chaque AI assure la mise à jour des données du SIAD auquel il est associé, l'information multimodale composée à partir des différents AIs serait automatiquement mise à jour.

Références

Ben khalel, I., Kamoun, M.A., Zidi, K., Hammad, S. (2005). Vers un système d'information voyageur multimodal (SIM) à base de système multi agent (SMA). REE. Janvier.

Collège Systèmes Multi-Agents de l'AFIA, Groupe de Travail « Collectif, Interaction, Emergence » (COLLINE): Glossaire 2003 ; Document disponible à l'adresse suivante: <http://www.irit.fr/COLLINE/DOCUMENTS/GlossaireColline.rtf>

Greenwood, D. (2005). JADE Web Service Integration Gateway (WSIG). Whitestein Technologies. Jade Tutorial. AAMAS.

Lacomme, P., Prins, C., Sevaux, M.(2003). Algorithmes de graphes. Edition EYROLLES chapitre6 175-214.

Meskine, A., Gendre, P.(2001). Algorithmes et calculs d'optimisation d'itinéraires pour l'information multimodale ; implémentation d'un prototype pour les transports collectifs avec horaires. Novembre.

Uster, G.(2004). pour une mobilité raisonnée, mobilités.net , collection 'Questions numériques' pp 320-324.

Van Der Zijpp, N.J., Fiorenzo Catalano, S. (2005). Path enumeration by finding the constrained K-shortest paths, Transportation Research Part B, Vol 39, pp 545–563.

Wang, K., Kaempke, K. (2004). Shortest route computation in distributed systems, Computers and operation research, Vol 31, pp 1621-1633.

Zidi, K., Hammadi, S., Borne, P.(2004). Méthode évolutionniste pour l'aide au déplacement dans le transport multimodal perturbé. 5eme Conférence francophone de modélisation et de simulation (MOSM'04) : " Modélisation et simulation pour l'analyse et l'optimisation des systèmes industriels et logistiques ". Du 1er au 3 septembre, Nantes (France).