

MODELISATION, APPROCHE MULTI AGENT ET OUTILS D'AIDE A LA DECISION APPLIQUE SUR LES SYSTEMES DU TRAFIC ROUTIER URBAIN

Najia BOUHA

Laboratoire Image et Reconnaissance de Formes - Systèmes Intelligents et Communicants IRF - SIC
Université Ibnou-Zohr- BP 32/S Agadir 80000

Résumé— La conception, l'étude et la gestion des systèmes de trafic urbain sont devenues de plus en plus difficiles et coûteuses car les configurations existantes sont multiples et complexes. Notre objectif dans cet article, est de présenter un état de l'art sur les techniques de modélisation, à savoir la modélisation macroscopique, microscopique et mésoscopique. Et nous verrons qu'afin de résoudre les problèmes d'échelle liés à l'espace et au temps rencontrés dans les modèles précités, un nouveau modèle nommé hybride a fait son apparition. Ce dernier a pour objectif de tirer profit des modèles classiques, en adoptant le modèle à l'échelle du phénomène étudié.

Le principal objectif des systèmes de trafic urbain est d'améliorer la circulation et d'optimiser la fluidité grâce à des règles de fonctionnement et de pilotage. Or la problématique liée à la conception des systèmes de pilotage est la maîtrise de la cohérence spatiale et temporelle des décisions, compte tenu des caractéristiques des systèmes pilotés et de leur environnement. La 2ème partie de cet article, sera consacré à l'étude de quelques outils d'aide à la décision existants.

D'autre part, l'approche basée sur les agents permet de concevoir des modèles de pilotage non centralisés et auto-organisés permettant ainsi d'améliorer la réactivité des systèmes de décision. Un agent est un matériel ou un logiciel qui soutient un contexte de prise de décision autonome. La dernière partie de cet article présentera les notions et les concepts de l'approche multi-agents.

MOTS-CLES— trafic routier, modélisation macroscopique, microscopique, mésoscopique et hybride, système complexe et intelligence artificielle, outils d'aide à la décision, système multi-agent.

I. INTRODUCTION

La route occupe une place privilégiée dans le secteur du transport, et, joue un rôle central dans les déplacements des biens, et des personnes. Lors des dernières années, et, en ce qui concerne le réseau géré par le ministère de l'Equipement et du Transport, on remarque une forte croissance de la production du réseau routier, et les indicateurs ont tous enregistrés des évolutions rapides et importantes. Le seuil des 40 000 Km du réseau routier revêtu au Maroc a été dépassé. Le transport routier assure plus de 70% du trafic de marchandises (hors phosphates transportés exclusivement par voie ferrée), et 95% du trafic voyageurs disponibles. Par ailleurs, le parc des véhicules en circulation s'élève à 2,5 Millions de véhicules.

Un système du trafic routier urbain est composé d'un réseau, de règles de fonctionnement, d'un système de gestion et de contrôle, et d'entités empruntant le réseau. Comme le montre la figure suivante :

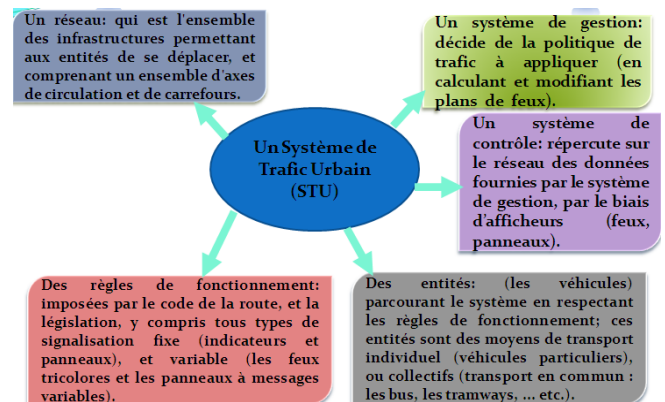


Figure 1 : système du trafic urbain

Afin d'améliorer la performance des Systèmes du Trafic Routier, il est nécessaire de comprendre leur fonctionnement, et surtout l'ensemble des règles de fonctionnement. Les usagers et les services techniques n'ont pas les mêmes objectifs :

- En ce qui concerne les usagers, leurs objectifs sont de : choisir la direction aux carrefours, minimiser le temps de parcours, réduire le temps d'attente aux carrefours, minimiser le coût, et quelques fois prendre le plus court chemin pour arriver à leurs destinations.

- Concernant les services techniques des agglomérations, il s'agit de maintenir une vitesse moyenne d'écoulement raisonnable, de minimiser la saturation, le temps d'attente aux carrefours, et assurer la sécurité ...

La connaissance du trafic est un élément essentiel en temps réel pour l'exploitation du réseau routier (et notamment pour alimenter les systèmes d'aide à la gestion du trafic) comme en temps différé pour éclairer les politiques publiques, et disposer de statistiques sur le secteur. Citons comme exemple l'utilisation des données de trafic :

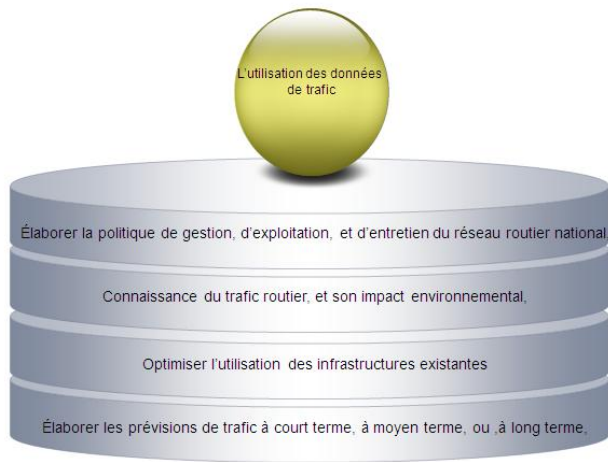


Figure 2 : Connaissance du trafic routier

Et depuis quelques années, le trafic routier attire tout particulièrement l'attention de l'opinion publique. Avec la montée en puissance des préoccupations environnementales et devant l'urgence de la situation, la congestion routière est de moins en moins acceptée par les parties prenantes du phénomène et notamment par les usagers.

Aujourd'hui, les voies rapides urbaines des principales agglomérations connaissent une congestion importante et grandissante. Cela représente de nombreuses heures perdues par les usagers mais aussi des pollutions supplémentaires de diverses natures. Cela a donc un coût tant économique qu'environnemental.

Afin d'améliorer les conditions de trafic sans pour autant élargir les voies existantes, les gestionnaires de réseaux font désormais l'usage de dispositifs de régulation, à l'image de la régulation d'accès ou de la régulation dynamique des vitesses.

Mais aujourd'hui, les exploitants se tournent également vers de nouvelles solutions qui rendent les couples véhicules-conducteurs, véritables acteurs des systèmes de régulation. En effet, avec le développement fulgurant des technologies de l'information et de la communication lors des dernières décennies, l'avenir de l'automobile semble étroitement lié à l'utilisation de systèmes innovants pouvant permettre entre autres, d'agir sur le comportement de conduite. Nous parlons alors de systèmes de transport intelligents (aussi dénommés ITS pour Intelligent Transport Systems) [4].

Afin d'aider les exploitants dans leur tâche de gestion du trafic et d'information des usagers, un certain nombre d'outils ont été développés, dont les outils de simulation dynamique du trafic. Ces derniers permettent d'évaluer l'impact d'une action d'exploitation sur les conditions de circulation, et ainsi de mettre en place des stratégies efficaces de gestion du trafic. Ce sont donc des outils d'aide à la décision, mais aussi d'évaluation des actions de gestion du trafic.

Ces outils de simulation dynamique du trafic reposent sur des modèles dont l'objectif est de décrire le comportement du trafic sur le réseau. On distingue généralement deux grandes familles de modèles : les modèles macroscopiques, dont l'objectif est de représenter de façon globale le flux de

véhicule dans un réseau autoroutier, alors que les modèles microscopiques permettent de décrire plus finement le comportement des véhicules dans un réseau routier.

Il existe également un autre type de modèles : les modèles mésoscopiques. Ces modèles utilisent les véhicules mais les considèrent sous forme de paquets. Leurs mouvements (les changements de file...) sont régis par des modèles macroscopiques. Ils s'appliquent très bien lors des études économiques ou des études de motifs de déplacements [3].

La principale difficulté rencontrée dans la modélisation du trafic est liée aux problèmes d'échelle. En effet, si nous considérons un réseau urbain, il est généralement constitué de voies rapides, nécessitant une modélisation macroscopique et des carrefours qui requièrent une représentation microscopique. Les problèmes d'échelle sont liés à l'espace et au temps. Ils peuvent être illustrés simplement en considérant un grand réseau routier dans lequel la fluidité du trafic et très diversement représentée suivant les parties considérées. En effet, un tronçon de route de grande longueur peut être en état congestionné avec des temps de parcours se mesurant en heures alors qu'un autre tronçon de route de faible longueur est dans un état fluide caractérisé par des temps de parcours se mesurant en secondes. Cette situation ne peut être représentée efficacement à l'aide des modèles cités précédemment [2].

Pour résoudre ces problèmes d'échelles et corriger les insuffisances des modèles de trafic, une nouvelle communauté de chercheurs s'est intéressée à un autre concept de modélisation dit hybride. Cette approche utilise conjointement les deux modèles macroscopiques et microscopiques [2].

L'approche hybride s'inspire des études menées sur les gaz. En effet, un gaz peut être représenté au niveau microscopique si nous voulons traiter les interactions entre les molécules (étude des phénomènes locaux) et il peut également être traité au niveau macroscopique si nous voulons décrire son état global (étude des phénomènes globaux) [5].

Dans le cadre de cet article, nous présenterons dans la session 2, composé de quatre parties, un état de l'art sur les techniques de modélisation. Et nous définirons plus précisément le problème d'échelles et analyserons la réponse apportée par les modèles classiques. Nous verrons alors que la modélisation hybride est une solution permettant d'étendre les possibilités applicatives de ces modèles.

Dans la session 3, nous traiterons les systèmes d'aide à la décision ; ce sont des modèles de pilotage et nous nous concentrerons essentiellement sur les modèles basés sur une approche orientée agent.

Finalement, la session 4 présentera les notions et les concepts de l'approche multi-agent. Nous parlerons de certaines méthodologies génériques. Quelques outils et plateformes seront également présentés.

II. MODELISATIONS

Les modèles de flux de trafic routier représentent un moyen efficace pour décrire les phénomènes et le comportement du flux de véhicules au sein des réseaux urbains et inter urbains. La multiplication des modèles développés à ce jour impose de les classer afin de mieux juger de leur capacité à s'adapter au problème traité [6].

A. Modélisation macroscopique

La modélisation macroscopique: considère le trafic comme un phénomène continu.

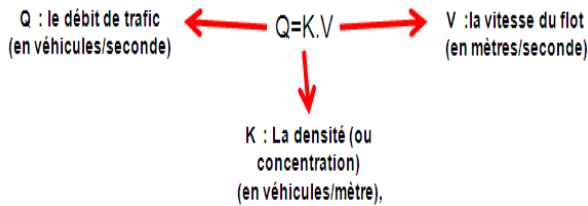


Figure 3 : Modélisation macroscopique

Les modèles macroscopiques sont basés sur l'analogie avec la dynamique des fluides et sont utilisés lorsque l'étude peut être réalisée à partir de données volumétriques de trafic et lorsque des résultats de ce type sont suffisants.

Ce type de modèle ne permet pas l'analyse des mouvements individuels. Ils proposent une modélisation grossière du trafic et permettent d'obtenir rapidement des résultats (ce qui en fait des modèles adaptés à des objectifs opérationnels à court terme).

Les modèles macroscopiques sont plus appropriés pour élaborer des lois de commande ou simuler un flux routier dans un grand réseau. METANET [7] est un simulateur de flux de trafic routier construit autour d'un modèle macroscopique. Il est utilisé en particulier à Amsterdam et Paris pour résoudre les problèmes de circulation dans ces grandes agglomérations. De plus, ils sont bien adaptés dans le cadre de l'analyse et de la reproduction des caractéristiques macroscopiques du flux telles que, les ondes de choc et les files d'attente. Récemment, des travaux ont été effectués dans le but de généraliser les modèles macroscopiques de manière à prendre en charge les différentes classes de véhicules circulant sur une infrastructure multivoies, mais ceci reste pour le moment très restreint et peu applicable. De plus, les représentations macroscopiques ne sont pas adaptées à l'étude du comportement microscopique inhérent au flux, et l'effet des changements de la géométrie de l'infrastructure. Finalement, la résolution analytique des modèles macroscopiques les rend mieux adaptés aux tâches telles que l'estimation de prédiction et de commande de flux de trafic.

B. Modélisation microscopique

La modélisation microscopique : permet d'étudier les interactions individuelles.

Ces modèles décrivent de façon précise les interactions entre véhicules. Et aussi, les réactions d'un véhicule par rapport à la perception qu'il a de son environnement [3].

Ces modèles sont généralement dédiés à un objectif particulier (comme l'étude des changements de voie sur une autoroute), mais peuvent être utilisés pour tout type d'étude car des valeurs macroscopiques peuvent être calculées à partir de résultats microscopiques.

Les modèles microscopiques peuvent être classés en deux grandes catégories [4] :

- Les modèles de poursuite : Il existe quatre types de modèles de poursuite : le modèle basé sur la distance de sécurité, le modèle à vitesse optimale, le modèle stimulus-réponse et le modèle psychologique.
- Les modèles d'automates cellulaires : Les automates cellulaires représentent un outil de modélisation efficace pour décrire, finement et efficacement les comportements dynamiques et complexes du trafic.

Les modèles microscopiques sont souvent utilisés pour une simulation hors ligne permettant ainsi de tester de nouvelles infrastructures (rampes d'entrée/sortie, suppression d'une voie, etc.), de nouveaux équipements automobiles (système d'aide aux conducteurs) ou d'avoir une idée approximative sur des données du flux difficiles à calculer empiriquement [2].

L'application des modèles microscopiques dans la régulation en temps réel du flux est très limitée compte tenu des énormes temps de calcul qu'ils nécessitent et l'absence d'un modèle explicite décrivant la relation entre les données d'entrée et de sortie. De plus, Ils sont incapables de déterminer avec précision les caractéristiques macroscopiques du flux (capacité, longueur de la file d'attente) [8].

La figure suivante résume les principales différences entre les deux grandes catégories de flux de trafic ; macroscopique et microscopique [2].

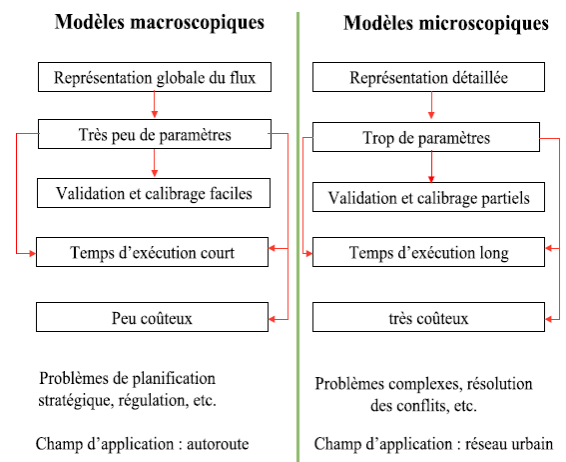


Figure 4 : Comparaison entre les 2 modèles

C. Modélisation mesoscopique

Les modèles mésoscopiques se basent sur l'analogie avec la cinétique des gaz. Ces modèles ont été développés pour réduire le temps de calcul des modèles microscopiques. Le calcul se réduit au traitement des paquets de véhicules (homogènes) au lieu de véhicules individuels. Les mouvements de ces paquets sont calculés en utilisant les modèles macroscopiques [9].

Les modèles mésoscopiques peuvent être classés en trois catégories :

- Les modèles fondés sur les distributions des écarts temps inter-véhicules (le temps qui sépare le passage de deux véhicules successifs) supposent que ces écarts soient distribués uniformément. Ces modèles sont considérés comme étant des modèles mésoscopiques du fait qu'ils tiennent compte des écarts de temps inter-véhicules sans pour autant expliciter le comportement de chaque véhicule, ni tracer sa trajectoire [10].
- Les modèles de type cluster sont caractérisés par la notion de paquets de véhicules. Un paquet est un ensemble de voitures qui partagent les mêmes propriétés (même origine et destination par exemple). Celui-ci est caractérisé principalement par : une dimension (le nombre de véhicules qui le composent) qui est dynamique, et une vitesse.
- Les conditions du trafic (vitesse, écart inter-véhicules, etc.) à l'intérieur d'un paquet ne sont pas explicitées ; on dit alors qu'il est homogène.
- Le modèle continu de Prigogine et Herman [11] basé sur la cinétique des gaz décrit davantage la dynamique liée à la fonction de distribution de la vitesse.

Une étude de trafic doit nécessairement débiter par un choix d'échelle ; en effet, la précision choisie pour l'étude conditionne la finesse des données à obtenir, les temps de calculs nécessaires, mais aussi la précision finale des résultats. Devant la multiplicité des modèles, l'utilisateur doit réaliser un choix en connaissant les spécificités de chacun de ses modèles, leurs domaines de validité, et les cas précis d'application. Le problème de l'échelle est une difficulté récurrente dans le domaine des transports. Afin de s'en affranchir, certains chercheurs ont proposé d'autres modèles comme les modèles mésoscopiques, adoptant une échelle «intermédiaire». Mais depuis une dizaine d'années, le concept d'hybridation des modèles s'est considérablement développé. Citons parmi d'autres [Bourrel, 2003], [Mammar, 2006] et [Leclercq, 2007]. L'idée serait de pouvoir utiliser les modèles microscopiques et macroscopiques au cas par cas, tout en assurant la cohérence des démarches aux interfaces macro-micro et micro-macro [4].

Problèmes d'échelle

Les problèmes d'échelles se retrouvent dans l'étude de l'écoulement du trafic routier. L'écoulement du trafic est le résultat d'une somme de comportements individuels. Chaque conducteur va interagir avec son environnement, c'est-à-dire les autres conducteurs et l'infrastructure sur laquelle il circule. L'observation de cet écoulement montre qu'il existe deux types de phénomènes : des phénomènes locaux, et des phénomènes globaux [5].

Un phénomène est local s'il n'implique qu'un petit nombre de véhicules, sur une étendue spatio-temporelle relativement faible, de l'ordre de quelques mètres et de quelques secondes.

Un phénomène est global, lorsque le nombre de véhicules impliqués devra être plus important (au moins de plusieurs dizaines de véhicules) et se produire sur des étendues spatio-temporelles de l'ordre de quelques centaines de mètres (voire kilomètres), et de la minute [5].

Prenons le cas de congestions fantômes (« phantom traffic jams »), la propagation de la congestion reste un phénomène global car elle concerne un nombre significatif de véhicules, et à une étendue spatiale et temporelle qui reste de l'ordre de plusieurs centaines de mètres et de la minute [5].

Toutefois, son origine est très locale, et ne concerne qu'un nombre restreint de véhicules. Il s'agit donc d'un phénomène global, mais son origine est de nature locale.

Cet exemple illustre le fait qu'en trafic, il n'existe pas de réelle séparation d'échelle (cette remarque est également faite par Helbing dans [Helbing et al., 2000]). S'il est manifeste qu'il existe des phénomènes globaux d'écoulement en tant que tels, il apparaît également que ces phénomènes ne peuvent pas être entièrement décorrélés de certains phénomènes locaux.

Par conséquent, pour représenter la dynamique de l'écoulement, il faut à la fois s'intéresser aux phénomènes locaux et aux phénomènes globaux.

Et Si on se trouve dans le cas où on dispose de deux modèles, l'un microscopique, l'autre macroscopique, chacun décrivant correctement les phénomènes soit à l'échelle microscopique, soit à l'échelle macroscopique, et qu'il est nécessaire pour une application donnée de tenir compte à la fois des deux types de phénomènes, quel modèle appliquer ? Il est évident que le modèle macroscopique ne conviendra pas car il ne représente pas correctement les phénomènes microscopiques. A l'inverse, le modèle microscopique peut ne pas convenir, et ce pour de diverses raisons : mauvaise reproduction des phénomènes macroscopiques, temps de calcul trop longs, ... Une solution est alors de coupler les deux modèles ; le système à modéliser est découpé en différentes zones en fonction des phénomènes caractéristiques de chacune, et, pour chaque zone, on utilise le modèle le plus approprié à la description de ces phénomènes. C'est ce que nous appellerons couplage de modèles ou hybridation [2].

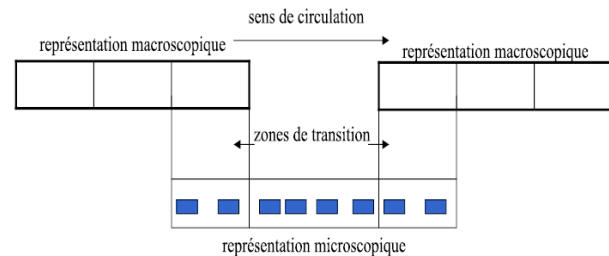


Figure 5 : Schéma de couplage [2]

D. Modélisation hybride

Consiste à modéliser les éléments du réseau qui ne nécessitent pas trop de détail au niveau macroscopique et de se focaliser sur les parties sensibles aux changements brusques et discontinus en les étudiant au niveau microscopique. Ainsi,

on arrive à réduire le nombre des véhicules traités tout en assurant une description claire et fine des éléments singuliers tels que les intersections, les rampes d'entrée et de sortie d'autoroute, etc.

Le principe de la communication entre les deux modèles repose sur le calcul des paramètres caractérisant la partie macroscopique et la transmission des conditions aux limites aux zones de transitions. Ces paramètres sont considérés comme constants durant tout le pas de temps macroscopique. De son côté, le modèle microscopique évolue d'une manière indépendante en utilisant les conditions aux limites fournies par le modèle macroscopique [2].

III. OUTILS D'AIDE A LA DECISION

L'intelligence artificielle distribuée est une approche pour contrôler les systèmes complexes en les décomposant en sous-ensemble reliés entre eux, et, en distribuant la prise de décision. Chaque sous-ensemble est responsable du contrôle de son domaine, et de la coordination des activités avec les autres sous-ensembles.

L'approche distribuée du pilotage peut contribuer à la mise en place d'organisations agiles, combinant des logiques de réseaux et de hiérarchie. Cependant, le pilotage non centralisé des systèmes du trafic routier s'appuie fondamentalement sur les interactions d'entités communicantes, autonomes et capables de prendre des décisions.

Un système d'aide à la décision est un système qui fournit à l'utilisateur des informations spécifiques l'aidant à prendre des décisions. Ce type de système a une influence indirecte au niveau de la prise de décision et la décision finale est fait par le décideur [1].

La réalisation d'un outil d'aide à la décision permettra d'améliorer la qualité de service aux usagers, et de résoudre des problèmes de planification au niveau stratégique, tactique, et opérationnel.

Etat de l'art : Quelques exemples d'outils d'aide à la décision

InTRYS et TRYS A2 (Hernandéz , 2002) [1]

1- InTRYS (Intégré) : il réalise la coordination entre les agents en utilisant un mécanisme centralisé; il a été implémenté dans la ville de Barcelone en Espagne.

2- TRYS A2 (Agent Autonome) : la coordination est faite par des interactions entre des agents autonomes; cette extension à été utilisée uniquement dans des laboratoires pour des objectifs de recherche.

Ces deux systèmes sont des systèmes d'aide à la décision pour une gestion de trafic en temps réel, ils utilisent les mêmes techniques de raisonnement depuis leur base de connaissance. Ils fonctionnent sur trois niveaux d'opération : capteurs, données et connaissances.

L'objectif des agents de pilotage est de fournir deux types

d'informations :

- 1) des diagnostics et des explications des problèmes;
- 2) des propositions d'actions de contrôle vers les feux ou vers les panneaux.

L'agent de pilotage de trafic possède quatre types de connaissance :

- 1) Des scénarios de problèmes possibles
- 2) Des propositions de contrôle de trafic
- 3) La structure du réseau
- 4) L'histoire de la demande du trafic

Les agents de pilotage de trafic dans les deux systèmes InTRYS (Intégré) et TRYS A2 ont la même structure et ils appliquent les mêmes techniques, mais la coordination entre agents n'est pas la même :

→ La structure d'InTRYS est une structure centralisée où l'agent coordinateur réalise la coordination entre les agents.

→ Dans TRYS A2 (Agent Autonome) : la coordination est faite par des interactions entre les agents (structure décentralisée).

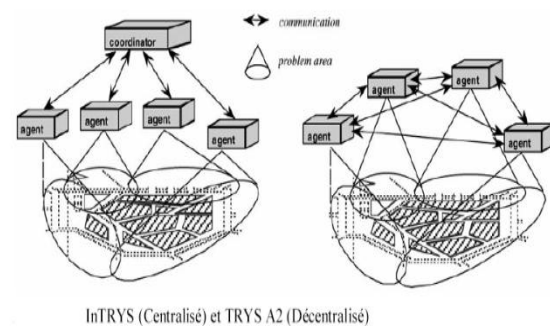


Figure 6 : Modèle de coordination d'InTRYS et TRYS A2

CMTMRGS (Adler et Blue, 2002) [1]

(Adler et Blue, 2002) ont proposé une approche multi-agents en temps réel de coopération entre le système de gestion et le système de guidage. Cette approche est basée sur un principe de négociation entre les agents représentant des entités de régulation, des fournisseurs d'information et les conducteurs.

CMTMRGS (Coopérative Multi-agent Transportation Management and Route Guidance System) est un système multi-agents coopératif de guidage et de gestion du trafic, basé sur trois couches (3 niveaux) :

- 1) Un centre de gestion de trafic TMC,
- 2) Un fournisseur de services d'information ISP, couche intermédiaire entre le TMC et l'ITIS (Intelligent Traveller Information System) dont l'objectif est de garder les informations personnelles des voyageurs et de réaliser les communications avec les décideurs et le TMC.
- 3) Un système intelligent d'informations pour le voyageur ITIS responsable des tâches suivantes :
 - a. Apprendre les préférences du voyageur ;

- b. Collecter les informations de trafic ;
- c. Trouver le meilleur trajet pour une destination donnée ;
- d. Négocier les meilleurs trajets avec les ISP ;
- e. Faire le guidage ;

Chaque usager déclare son origine, sa destination, son trajet préféré, sa vitesse, l'heure de départ et les contraintes de temps s'il y en a. Les agents de contrôle calculent un trajet possible pour les véhicules à partir des conditions de trafic pré-testées. Tous les carrefours à feux négocient entre eux et avec les voitures qui approchent, selon la longueur et l'instant de départ des cycles de feux afin de réduire au minimum le temps d'attente pour les voitures.

Les défauts de cette approche sont :

- 1- La coopération entre les usagers et les ISP est difficile.
- 2- Les usagers ne veulent pas partager leurs informations personnelles concernant leurs trajets.
- 3- Les usagers ne veulent pas payer plus d'argent pour de nouveaux services.

(Ossowski, 2005) [1]

(Ossowski, 2005) a proposé un système d'aide à la décision pour la gestion du trafic basé sur des abstractions multi-agents communicantes et organisées (Modèle de pilotage basé sur les systèmes multi-agents).

Le modèle d'organisation est composé des agents suivants :

- L'agent de données DA, dont le rôle est de fournir des informations sur l'état actuel du système étudié,
- L'agent d'implantation des actions AIA, responsable de l'exécution des décisions prises par le décideur,
- L'agent de management MA; qui joue le rôle d'informer, de conseiller, d'expliquer ...,
- L'agent d'interface utilisateur UIA, qui est une couche intermédiaire entre le système d'aide à la décision et le décideur,
- L'agent de périphérique PA, qui représente l'infrastructure physique du système étudié,

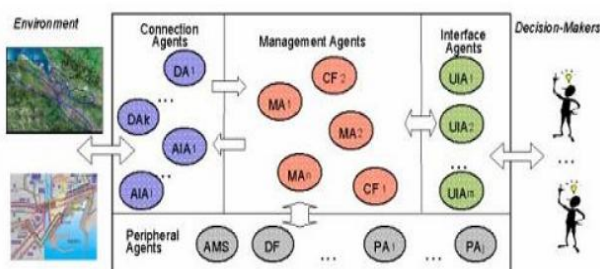


Figure 7 : Modèle de coordination d'Ossowski

Cette architecture a été appliquée pour détecter les accidents et pour proposer des messages aux usagers sur ces accidents. Le modèle est utilisé à Bilbao en Espagne. Un autre exemple a été traité pour gérer le fonctionnement des bus de la ville de Malaga.

IV. SYSTEME MULTI-AGENT

Une approche basée sur les agents permet de concevoir des modèles de pilotage non centralisés et auto-organisés permettant ainsi d'améliorer la réactivité des systèmes de décision, ce qui accroît leur autonomie.

Les Systèmes Multi-Agents (SMA) sont des outils pour conceptualiser et décrire les systèmes complexes. Cette approche va contribuer à la réduction de la complexité de la modélisation classique. Trois conditions pour lesquelles les technologies d'agents peuvent aider dans la conception et l'analyse sont à prendre en compte [1] :

- 1- Le domaine du problème est géographiquement distribué,
- 2- Des sous-ensembles existent dans un environnement dynamique,
- 3- Les sous-ensembles doivent interagir entre eux plus efficacement.

Les technologies de l'intelligence artificielle distribuée (IAD) et les approches de résolution coopératives des problèmes peuvent aider à traiter les problèmes de ce type de domaine. Elles offrent certains avantages pour la résolution des problèmes : une réponse plus rapide, une flexibilité accrue, une robustesse, le partage de ressources, et une meilleure adaptabilité (Ferber, 1999, 2004), (Drogoul, 1998, 2002) [12].

(Wooldridge et Jennings, 1995) [13] ont défini l'agent comme suit : "Un agent est un système informatique situé dans un environnement quelconque capable d'exécuter des actions autonomes dans son environnement pour atteindre ses objectifs". Une autre définition a été suggérée par (Huhns et Singh, 1998) : "Un agent est une entité logicielle qui est capable de percevoir, raisonner, réagir et communiquer."

L'agent ne peut pas complètement contrôler son environnement car il a une vision limitée de cet environnement, donc il ne peut le contrôler que partiellement. La figure suivante montre l'architecture d'un agent qui est composée de deux parties : une partie de perception et une partie d'action, la figure montre aussi les relations entre l'agent et son environnement.

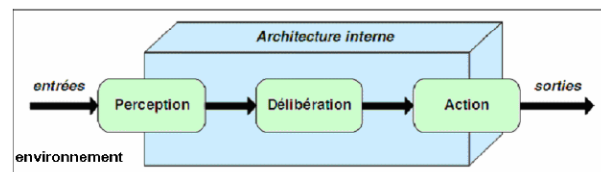


Figure 8 : L'environnement d'un agent

L'utilisation de l'approche multi agent peut se justifier de la façon suivante [1] :

- ✓ Le caractère distribué et parallèle du paradigme multi-agents permet de bien décrire la complexité du système de trafic routier.
- ✓ La décomposition d'un problème en sous problèmes plus simples, et plus faciles à appréhender.
- ✓ L'intégration de descriptions qualitatives, quantitatives et symboliques.

Les systèmes multi-agents sont efficacement applicables dans plusieurs champs de recherche. Ils permettent de traiter des problèmes qui, bien que pouvant être résolus par d'autres méthodes plus classiques, offrent l'avantage d'être plus flexibles. Les agents sont capables de répondre à temps, proactifs et sociaux. Ces trois caractéristiques leur permettent de percevoir leur environnement et d'interagir entre eux afin d'élaborer une réponse en temps réel.

Il existe trois types d'agents [1] :

1. **Agent réactif** : Certains types d'agents décident quoi faire sans apprendre de leur histoire, ils réagissent toujours en fonction de leur état interne et de l'événement reçu de l'environnement.
2. **Agent cognitif** : Les agents cognitifs sont capables de mémoriser leur passé pour appréhender leur avenir et pour mieux choisir les actions qu'ils doivent effectuer. De plus, ils réagissent par rapport à leurs propres buts.
3. **Agent hybride** : La difficulté pour construire un système multi-agent est de garantir une balance pour chaque agent entre la réalisation de ses propres buts (un comportement autonome) et la bonne réaction aux changements de son environnement. Par conséquent, le fait de donner à un agent une capacité de réactivité et une capacité de proactivité amène à la notion d'agent hybride.

V. CONCLUSION

Nous avons présenté dans cet article, les modèles de flux du trafic routier, à savoir la modélisation macroscopique, microscopique, mesoscopique et hybride.

La modélisation hybride n'a été abordée que très récemment par les chercheurs dans le domaine du transport routier. Les modèles hybrides développés jusqu'à présent constituent des pistes de recherche toujours d'actualité. Ils se distinguent par le type des modèles utilisés, et par la procédure de couplage adoptée ainsi que par le type d'infrastructure étudiée.

Dans un système basé sur l'approche multi-agent, tous les agents communiquent et coopèrent afin de représenter le système d'une manière claire et réaliste. Et pour que ce système soit plus performant, il doit être capable de comparer une réalité observée avec des scénarios prédéfinis. Ces derniers reflètent la connaissance de l'expert sur les phénomènes concernés. Or, cette connaissance ne suffit pas pour reconnaître un dysfonctionnement. Puisque un problème peut provenir de deux causes distinctes.

Une approche hybride de ce type de système s'impose, pour améliorer le réalisme des simulations et l'efficacité des procédures. De plus, la mise à disposition de différents outils d'aide à la décision devait également améliorer la qualité de service.

Afin de permettre à notre pays de mieux gérer le trafic routier national, il est primordial de s'équiper de moyens et outils nécessaires d'aide à la décision, et d'encourager les recherches scientifiques dans ce domaine. De plus, le Maroc devra exploiter les nouvelles technologies utilisées par les pays émergents afin de mieux organiser ce secteur qui reste tant anarchique.

A noter qu'il est nécessaire de prendre en compte dans les futures recherches, les perspectives suivantes :

- Prise en compte des événements aléatoires tels que le transport des matériaux dangereux, ...
- Couplage avec des méthodes de recherche opérationnelle pour le routage, les politiques de gestion et le phasage.
- Prise en compte des catastrophes naturelles tels que les inondations, les séismes, etc....

REFERENCES

- [1] A.AHMAD. « *L'approche multi-agents pour le pilotage des systèmes complexes* », thèse de doctorat à l'université UNIVERSITE BLAISE PASCAL – CLERMONT II-Juillet 2009
- [2].S. EL HMAM « *Contribution à la modélisation et à la simulation hybride du flux de trafic* », thèse de doctorat à l'université d'Artois-Septembre 2006.
- [3] Michelle Chabrol, David Sarramia « *Modélisation orientée objets du système d'information des Systèmes de Trafic Urbain : une approche multi-agents* »
- [4] G.SOSTESQUE. « *Analyse et modélisation du trafic routier : Passage du microscopique au macroscopique* », mémoire de mastert à l'université de Lyon – 2011
- [5] E.BOURREL « *Modélisation dynamique de l'écoulement du trafic routier : du macroscopique au microscopique* », thèse de doctorat à l'institut national des sciences appliquées de Lyon-2003
- [6] P.Serge,Hoogendoorn, H.L Piet, and Bovy « *State of the art of Vehicular Traffic Flow Modelling* ».Journal of Systems and Control Engieering Special Issue On Road Traffic Modelling and Control, 215 N°4-2001
- [7] A.Kotsialos « *Optimal co-ordinated and Integrated Motorway Network Traffic Control* »Proccedings of the 14th International Symposium of transportation and traffic theory-1999
- [8] S Algers « *Review Report of the SMARTTEST project ; deliverable 3* »Review of Micro-Simulation Models-1997
- [9] Marchal F De Palma A and Nesterov Y.Metropolis « *A Modular System for dynamic traffic simulation* »METROPOLIS-1996

[10] SP.Hoogendoorn and Bovy « A New Estimation Technique For vehicle type specific Meadway Distribution »Transportation Research Record-1998

[11] I Prigogine and R Herman « Kinetic theory of vehicular traffic. American Elsevier New-York-1971

[12] Ferber J « Multi agent systems : An introduction to Distributed Artificial intelligence » Addison –Wekey Longman Publishing-1999

[13] Wooldrige and Jennings « Intelligent agents :theory and practice ».The Knowledge Engineering Review-1995