
Modélisation et simulation des usagers deux-roues motorisés dans ARCHISIM.

Laetitia BONTE^{*,**} — Stéphane ESPIÉ^{*} — Philippe MATHIEU^{**}

^{*} INRETS

2 av. Général Malleret-Joinville F-94114 Arcueil

{bonte,espie}@inrets.fr

^{**} LIFL - Équipe SMAC

Université des Sciences et Technologiques de Lille 59655 Villeneuve d'Ascq cedex

{bonte,mathieu}@lifl.fr

RÉSUMÉ. Le but de ce travail est de proposer une approche permettant la simulation des usagers de deux-roues motorisés dans un modèle de trafic existant : ARCHISIM. ARCHISIM est un projet de l'INRETS qui a pour but de simuler l'évolution du trafic comme étant le résultat des différents comportements des acteurs de la simulation. Nous montrerons les différences avec les autres usagers de la route (automobilistes, piétons) et pourquoi ces comportements ne sont pas applicables, dans le cadre d'ARCHISIM, aux deux-roues. Après avoir détaillé ce modèle, nous proposerons une solution pour incorporer les deux-roues.

ABSTRACT. This paper explains how to simulate the motorcyclists' behaviour in an existing traffic model : ARCHISIM. ARCHISIM is an INRETS' project which aims at simulating traffic evolution as a result of the different behaviours of actors of the simulation. We present the differences of motorcyclists' behaviors with those of other road users (car drivers, pedestrians) and why these behaviours are not suitable, in the ARCHISIM framework, to the motorcycles. After presenting this model, we propose a solution to incorporate motorcycles in ARCHISIM.

MOTS-CLÉS : comportement, deux-roues motorisés, multi-agent

KEYWORDS: behaviour, motorcycle, multi-agent

<p>HERMÈS SCIENCE PUBLICATIONS 8 Quai du Marché Neuf - 75004 Paris Tel : 01-53-10-15-20 Télécopie : 01-53-10-15-21 Email : hermes@hermes-science.com Serveur Web : http://www.hermes-science.com</p>
--

Introduction

Les deux-roues motorisés constituent un mode de déplacement en expansion en milieu urbain. Ils sont considérés comme des usagers vulnérables de par leur manque de protection et de visibilité. Le taux de victimes ne cesse de croître [FIL 05]. Pourtant peu de travaux ont été effectués pour aider à mieux comprendre le comportement des conducteurs de deux-roues motorisés.

Le but de notre projet est d'incorporer les usagers deux-roues motorisés dans un modèle de simulation de trafic existant : ARCHISIM. ARCHISIM est un projet de l'INRETS¹ qui a pour but de simuler l'évolution du trafic comme étant le résultat des différents comportements des acteurs de la simulation.

Ce papier présente tout d'abord un état de l'art sur les études concernant les comportements des usagers de deux-roues motorisés. Puis l'architecture d'ARCHISIM sera brièvement décrite. Et enfin les problèmes liés aux déplacements des deux-roues seront détaillés et des propositions de solutions seront exposées.

1. Simulations existantes

Les simulations de trafic proposent toutes de reproduire des conditions réelles de trafic. Mais lorsque l'on regarde de plus près, ces simulations proposent un trafic essentiellement composé de véhicules légers, avec parfois des poids-lourds. VISSIM² propose de simuler le déplacement des deux-roues non motorisés sur des pistes cyclables séparées de la route par des terre-pleins. Les vélos ne se mêlent pas au trafic. Dans des simulations telles que PARAMICS³ ou AIMSUN⁴, les deux-roues ne sont pas présents. Il y a donc un réel manque à combler dans le cas des deux-roues.

2. Modélisation des comportements des conducteurs de deux-roues

Dans cet article, nous ne parlerons que de motocyclettes (deux-roues motorisés de plus de 125cm³ ou motos).

D'après Michon [MIC 85], la tâche de conduite se décompose en trois parties : la partie stratégique (choix d'un itinéraire), la partie tactique (choix d'une manœuvre) et la partie opérationnelle (exécution de la manœuvre). Nous nous focaliserons sur l'aspect tactique : "pourquoi et grâce à quelles informations, un usager prend une décision plutôt qu'une autre ?". Nous nous attachons donc aux prises de décision. Nous ne discuterons pas des aspects stratégiques et opérationnels de la conduite.

1. Institut National de REcherche sur les Transports et leur Sécurité

2. http://www.francais.ptv.de/cgi-bin/traffic/traf_vissim.pl

3. http://www.paramics.com/demos/demos_movies.htm

4. <http://www.ttsim.com/Produits/aimsun.htm>

Études des comportements des usagers deux-roues : état de l'art

Les méthodes d'observations des comportements sont nombreuses [ESP 02], mais il n'y a pas à notre connaissance d'études de prise de décision, la plupart étant des études de prise de risque. Trois méthodes ont été utilisées pour étudier le comportement des usagers deux-roues : les questionnaires, les études d'accidents et les études numériques.

Dans [gis02], les auteurs distinguent cinq types de motards grâce à deux questionnaires successifs : les pragmatiques (30%), les hédonistes (21%), les fous du guidon (19%), les désimpliqués (18%) et enfin les motards du dimanche (12%). Dans [COL 02], les auteurs mettent en évidence deux profils d'utilisateurs de deux-roues prenant des risques en milieu urbain :

- ceux qui ont un rapport instrumental au deux-roues, en l'utilisant par exemple uniquement pour des trajets domicile-travail ;
- ceux pour qui la conduite en deux-roues s'apparente à un loisir.

Ces études nous permettent de faire plusieurs hypothèses sur les comportements adoptés. Ainsi, on peut supposer qu'un motard effectuant un trajet domicile-travail (de type désimpliqué dans [gis02]) prendra moins de risque et ira moins vite qu'un motard de type pragmatique (pour qui la moto est un loisir) qui a plus confiance en lui.

Les études d'accidents, par exemple [ELS 03], permettent de comprendre les "défaillances fonctionnelles" (mauvaises prises de décision), c'est-à-dire ce qui va faire que le conducteur de deux-roues va avoir un accident, par exemple la pratique d'une vitesse excessive ou le fait qu'il pense être vu par les automobilistes. Ces études donnent les comportements qui entraîneront l'accident. Comme notre but n'est pas d'étudier ou de simuler les accidents, ces études ne peuvent pas nous servir directement.

D'autres études sont des études plus numériques. Pour obtenir une meilleure compréhension du trafic des motos, une étude a été menée à Hanoi, Vietnam [MIN 05b]. Cette étude avait pour but (1) de mettre au point les techniques appliquées pour collecter et analyser les vitesses des motos, temps inter-véhicules et la relation vitesse/flux, (2) de traiter les résultats de l'analyse des données et (3) d'expliquer les résultats pour mieux comprendre ce mode de transport. Dans une autre étude [MIN 05a], Minh propose des données sur la vitesse et les distances lors de dépassements selon deux types de route : route sans séparateur et une route réservée aux motos. Les distances observées sont les distances latérales et longitudinales. Nous pourrions utiliser les constats de cette étude, tels que le fait que la différence entre la vitesse du véhicule dépassant et la vitesse du véhicule dépassé est plus importante dans le cas d'une route non-séparée.

Les études d'observation actuelles ne nous donnent pas ce que nous recherchons, c'est-à-dire les motifs et les critères de prise de décision, comme par exemple "pourquoi un motard choisit de remonter une file de voitures par un côté plutôt qu'un autre ?". Si nous n'avons pas de résultats pour les deux-roues, il existe des études plus approfondies pour les automobilistes. Notre hypothèse est de considérer qu'un motard a globalement les mêmes motifs de prise de décision qu'un automobiliste. Mais du fait de la dynamique et de l'encombrement d'un deux-roues, le motard pourra réa-

liser des manœuvres impossibles pour les automobilistes. Il va par exemple doubler un autre véhicule pour les mêmes raisons qu'un conducteur de voiture : pour optimiser le temps d'un déplacement et/ou minimiser une gêne. Le conducteur du deux-roues pourra remonter une file de voitures et/ou se faufiler, alors que l'automobiliste ne le pourra pas.

Étude du comportement du conducteur automobile

Des travaux menés aux Laboratoire de Psychologie de la Conduite ont abouti à la définition d'un modèle conceptuel du comportement des conducteurs. Ce modèle, conçu par F. SAAD [SAA 88], se focalise sur les aspects tactiques de la conduite. Il a été construit à l'aide d'un véhicule instrumenté et d'entretiens post-conduite avec les conducteurs. Le véhicule instrumenté était équipé d'un moyen d'enregistrement de la scène visuelle (sur le devant du véhicule) et des paramètres suivants : le temps et la distance parcourue (pour positionner les événements dans le temps et dans l'espace par rapport à la route), la vitesse du véhicule et les instants de freinages. Deux observateurs accompagnaient le sujet pour le bon fonctionnement des enregistrements et pour noter les mouvements de têtes et tous les événements non enregistrés par la vidéo. Après l'épisode de conduite, les sujets visionnaient la vidéo de leur déplacement et commentaient leur conduite. Des questions complémentaires étaient posées avec comme support des images représentant des situations non-rencontrées.

Ce mode opératoire a permis d'obtenir une description précise de l'activité d'un conducteur lors d'interactions complexes en situations réelles et d'identifier les connaissances utilisées et les stratégies appliquées.

3. ARCHISIM

Fondements

Le but d'ARCHISIM est de développer des simulations de trafic centrées "individus" fondées sur le comportement réel des conducteurs [ESP 94]. Le modèle de conducteur sur lequel se fonde ARCHISIM s'appuie sur les travaux de F. SAAD cités précédemment. Le trafic émerge à partir des actions individuelles et des interactions des différents acteurs. Ce modèle a été validé pour la conduite en file (autoroute) et insertion ([HAD 00], [CHA 02]).

ARCHISIM est un modèle de simulation comportemental, son implémentation suit les concepts multi-agents. Les conducteurs des véhicules simulés sont des agents. Ils fonctionnent en s'appuyant sur trois processus principaux : perception, décision et action. Le comportement des agents est défini grâce aux motifs sous-tendant les prises de décision des conducteurs réels.

Dans ARCHISIM, on distingue deux types d'éléments simulés : les agents et les objets. Les agents vont prendre de l'information, établir une stratégie puis renvoyer

de l'information. Les principaux agents de la simulation sont les conducteurs et les piétons. Les objets décrivent par exemple la signalisation routière (horizontale ou verticale). Pour bien expliquer la différence entre objet et agent, on peut prendre le cas du contrôleur de carrefour à feux : la partie décisionnelle (algorithme embarqué sur la carte électronique de contrôle des feux) est un agent. Les feux tricolores et les éventuels capteurs de trafic sont des objets. Le contrôleur prélève de l'information sur son environnement par le biais de ses capteurs (s'il en a), calcule son nouvel état et renvoie de l'information à son environnement par le biais des feux. Ce qui induit des modifications dans les comportements des agents conducteurs. Cet exemple est représentatif du choix de la granularité qui existe dans tout système multi-agents.

ARCHISIM se concentre essentiellement sur les aspects tactiques de la conduite, donc sur le *pourquoi* ? des actions (prise de décision de dépassement par exemple) et non sur le *comment* ? (la manière dont un conducteur appuie sur une pédale de frein par exemple).

Principe général

Pour obtenir des comportements crédibles, il faut que les agents perçoivent leur contexte de conduite. Deux moyens principaux pour représenter la perception peuvent être utilisés : (1) on donne aux agents la capacité de "voir", mais ce moyen est coûteux surtout pour représenter beaucoup d'agents ; (2) on donne aux agents une représentation symbolique de ce qu'ils sont capables de "voir". Dans ARCHISIM, la solution retenue est la seconde. C'est un *serveur de vision* qui donnera aux agents cette représentation symbolique.

La simulation est décomposée en pas de temps. À chaque pas de temps, chacun des agents présents dans la simulation envoie au *serveur de vision* une requête. Cette requête contient son état courant visible, c'est-à-dire sa position, sa vitesse, l'état de ses indicateurs, etc. La requête est relative aux éléments placés dans son champ de perception (paramétrable en distance). Le *serveur de vision* attend de recevoir toutes les requêtes des agents pour mettre à jour la base de données représentant le réseau. Ensuite il détermine et envoie à chacun les éléments que celui-ci peut percevoir (voir figure 1). Chaque agent réceptionne de la part du *serveur de vision* la liste des éléments présents dans son environnement. Ces informations sont utilisées par chaque agent pour mettre à jour ses connaissances et adapter son comportement.

Le *serveur de vision* sert d'interface entre la base de données représentant le réseau et les agents, permettant de fournir à ces derniers uniquement ce qu'ils peuvent percevoir. Grâce à ce mécanisme, les agents n'ont pas à calculer ce qu'ils sont réellement capables de voir, comme dans le monde réel. Il est important de noter que ce *serveur de vision* est dénué d'intelligence, il ne fait que "distribuer" l'information aux agents, il n'interprète rien et il ne supervise rien.

En conclusion, les agents sont situés (ils sont localisés sur le réseau routier) et ne sont pas omniscients (ils ne peuvent percevoir que ce qui se trouve dans leur environnement). Le mode de fonctionnement d'ARCHISIM est distribué et parallèle. Le trafic

provient d'une offre (infrastructure) et de demandes de déplacements individuelles et d'actions et d'interactions entre des acteurs variés.

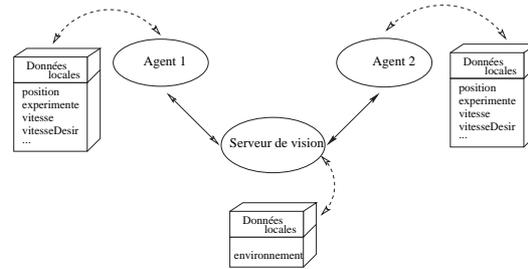


Figure 1. Mode de communication utilisé dans ARCHISIM : (1) chaque agent donne sa position au serveur de vision, (2) le serveur de vision renseigne les agents sur ce qu'ils sont capables de voir.

L'environnement : l'infrastructure routière

L'infrastructure, aussi appelée réseau routier, est représentée sous la forme d'un graphe (R,N) où R définit l'ensemble des routes et N l'ensemble des nœuds. Une route a toujours au moins 2 nœuds : en son début et à sa fin. Les autres nœuds sont définis par rapport aux intersections : un nœud sur une route signifie qu'il y a une intersection. La route est symbolisée par un axe unique, et non une axiale par voie. Quand les mobiles se déplacent sur une route, ils sont repérés par rapport à cet axe (voir figure 2(a)). Les coordonnées des objets et des mobiles sont exprimées en route (r), point kilométrique (pk), distance par rapport à l'axiale (voie) et angle d'orientation (cap), c'est-à-dire en coordonnées curvilignes (voir figure 2(b)), ce qui permet une simplification des calculs par rapport aux coordonnées cartésiennes.

Cette représentation qui nécessite plus de calculs permet aux véhicules de se déplacer sur la totalité de la route en variant simplement l'écart qu'ils ont par rapport à l'axiale, comme le fait [REY 99]. Ainsi, les véhicules peuvent être au milieu d'une route, en travers d'une route, contrairement à la majorité des autres simulations de trafic où souvent les véhicules voyagent *comme sur des rails* en suivant une trajectoire prédéfinie ([par] par exemple).

L'intérêt de cette structuration symbolique souple est de permettre une utilisation complète de l'espace roulant. On ne préjuge pas de l'utilisation de cet espace qui est dans la réalité souvent structuré par des marquages aux sols (marquages qui peuvent être surchargés temporairement, dans le cas de travaux par exemple).

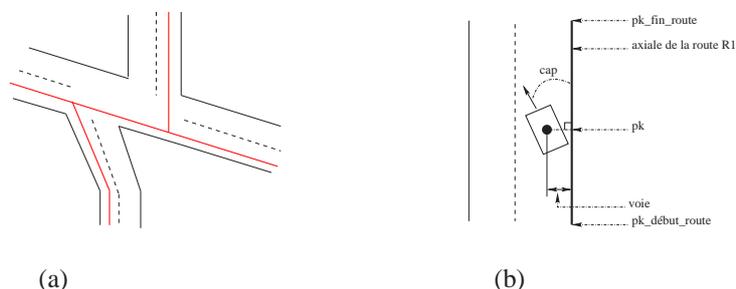


Figure 2. (a) Les routes sont symbolisées par leurs axiales. (b) Signification des coordonnées d'un véhicule.

Comportement des agents dans ARCHISIM

À partir de la liste décrivant les objets placés dans leur environnement, chaque agent va pouvoir établir son comportement. Par exemple, un conducteur automobile (1) va se créer une représentation égo-centrée de la situation (représentation de l'espace roulant et des éléments placés dans son environnement centrée sur sa position), (2) va caractériser le trafic autour de lui et anticiper sur son évolution, (3) va choisir sa file (4) va réaliser son déplacement.

Les agents ont leurs propres caractéristiques telles qu'une vitesse désirée, un niveau d'expérience, une position de départ et une destination, le type de véhicule en ce qui concerne un véhicule. Les comportements et donc les décisions des agents dépendent en partie de ces caractéristiques. Pour pouvoir avoir des comportements crédibles, les agents sont capables d'anticiper afin par exemple d'éviter une situation de conflit [HAD 00].

4. Caractéristiques particulières du déplacement des deux-roues

Comme les autres usagers, les conducteurs de deux-roues veulent réaliser leurs déplacements de manière optimale pour eux, tout en minimisant des contraintes. Le modèle de comportement automobile ne peut pas s'appliquer directement aux deux-roues du fait de la mobilité des deux-roues. Par contre, les trajectoires des deux-roues peuvent s'apparenter aux trajectoires des piétons, dont [TEK 02] nous donne une bonne modélisation. Ce résultat apparaît parce que les deux-roues sont très mobiles et ne respectent pas *strictement* le code de la route. Par exemple, la remontée de file et le faufileage entre les voitures ne sont pas autorisés mais sont des pratiques courantes.

Dans la littérature, un type d'obtention de trajectoire pour le déplacement d'agents est assez fréquent : les champs de potentiels, par exemple [REY 99]. Cette méthode nous paraît pertinente pour l'évitement d'obstacle et pour des agents au comportement purement réactif, dans des espaces non-structurés. Mais pour un environnement

structuré et des comportements plus complexes prenant en compte l'anticipation, cette méthode nous paraît peu adaptée.

5. Les voies *virtuelles*

Des travaux précédents, dans le cadre d'ARCHISIM, avaient exploré la manière dont les véhicules occupaient l'espace au niveau des carrefours. Dans ces travaux, les mobiles ne respectaient pas la structuration de la chaussée en files délimitées mais créaient des files supplémentaires par exemple des files de *tourne-à-gauche*. Nous appelons les voies délimitées par le marquage des voies *physiques*. Ainsi les voies "créées" par les mobiles seront appelées voies *virtuelles*.

L'idée que nous proposons ici est de décliner ce concept de voies *virtuelles* pour le déplacement des deux-roues.

Définition

Si les motivations des usagers deux-roues sont les mêmes que celles des automobilistes, leurs trajectoires respectives sont très différentes. Pour une même situation, se déplacer sur une route congestionnée par exemple, les automobilistes vont devoir "prendre leur mal en patience" ou essayer de changer de file pour se mettre dans "celle où ça avance mieux", alors que les motards vont remonter les files. Ainsi ils ne se contentent pas de rouler sur les voies *physiques*, ils se redéfinissent l'espace que constitue la route et vont par exemple créer des "couloirs" (ou "corridors" dans [REE 91]) pour remonter les files.

Afin de pouvoir garder un déplacement curviligne, nous choisissons de garder la notion de voie. Pour redéfinir l'espace roulant en terme de voies, deux solutions sont assez intuitives :

1) ces voies sont des sous-voies des voies *physiques* [MIN 05b] , en fait ces voies ne sont que des voies *physiques* dont la largeur est définie pour les deux-roues du fait de leur encombrement ;

2) ces voies sont des voies parallèles centrées sur le deux-roues , ce qui rajoute de la dynamicité par rapport à la première solution car les voies se déplacent avec le motard.

Ces deux solutions ne paraissent pas satisfaisantes, car elles sont trop rigides : elles impliquent que les voies *virtuelles* aient toute la même largeur. De plus, la construction des voies ne nous paraît pas judicieuse car elle ne prend pas en compte l'occupation de la chaussée par les autres usagers. Il est à noter que cette occupation a un caractère dynamique (comme les véhicules roulent, l'occupation change en permanence).

Le calcul des voies se fait selon les véhicules se trouvant dans le champ de vision de l'agent. Une voie *virtuelle* est définie par rapport aux bords des véhicules. Sur la figure 3, la voie [B_g;C_d] est définie par rapport au bord gauche du véhicule B et au bord droit du véhicule C. Le fait de prendre tous les véhicules dans le champ de

perception de l'agent est (1) coûteux car certains véhicules sont inutiles pour une situation donnée (par exemple, sur la figure 3, le véhicule J est inutile à l'instant présent car l'espace entre B et F est insuffisant pour passer) et (2) dangereux car dans certains cas un véhicule lointain ferme une voie *virtuelle*, libre jusque là (par exemple sur la figure 3, le véhicule H ferme la voie [B_g;C_d]). Pour ces raisons, le calcul des voies *virtuelles* se fait incrémentalement (du plus proche au plus lointain si aucun choix n'a pu être fait).

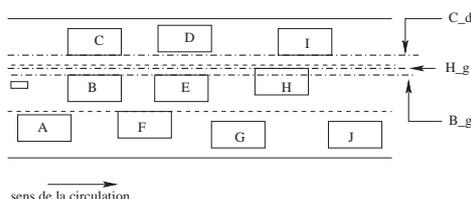


Figure 3. Exemple de voies virtuelles définies par rapport aux autres usagers.

Choix d'une voie virtuelle

Une fois les voies calculées, les agents choisissent quelle voie ils veulent emprunter. Pour cela, ils disposent de plusieurs critères comme la largeur, la vitesse praticable ou le type des véhicules à proximité, notamment ceux qu'il faudra dépasser. En effet, une voie *virtuelle* se situant entre deux voitures représentera un risque moins important qu'une voie se situant entre une voiture et un poids-lourd. Les choix se fonderont donc sur de tels critères, mais également sur des caractéristiques de l'agent : expérimenté ou non, niveau de risque accepté, motif du déplacement. Car ces caractéristiques influencent la façon de "conduire" des usagers [CAC 05]. Ainsi, les hédonistes et les fous du guidon vont avoir tendance à rouler plus vite et à prendre plus de risque que les pragmatiques, les désimpliqués et les motards du dimanche [gis02]. Nous émettons également des hypothèses simples telles que :

- les motards roulent au milieu des voies ;
- les motards évitent de faire souvent des zig-zag entre différentes files ;
- les motards préfèrent doubler par la gauche sauf en cas de proximité avec le bord de la route ;
- les motards évitent de doubler un camion avec une vitesse trop élevée.

Ces hypothèses sont fondées sur des observations et non sur des études, mais en l'absence d'études nous nous appuyons sur ces hypothèses.

Dans le cas de la figure 4, l'agent se dirige de préférence vers la voie [B_g;C_d],

car la largeur de cette voie est supérieure (l'écart entre B et F est insuffisant pour un dépassement).

Si plusieurs voies sont possibles, pour l'instant le choix se fait sur des critères de

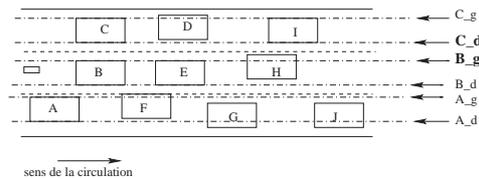


Figure 4. Exemple de voies virtuelles définies par rapport aux autres usagers et créées incrémentalement.

localisation (en général, doubler par la gauche est préférable) et de largeur (on choisit la voie la plus large). Mais nous gardons à l'esprit qu'il faut prendre en compte les véhicules suivants (les véhicules D, E et F). Ainsi on obtiendra de nouvelles voies ($[F_g; B_d]$ et $[A_g; F_g]$; $[B_g; C_d]$ et $[C_d; D_d]$, voir figure 5). Parmi ces voies, la voie $[B_g; C_d]$ est d'une plus grande largeur que la voie $[B_d; F_g]$. Elle sera donc choisie.

Ce choix reposant uniquement sur la largeur ne se justifie que parce que la voie $[B_d; F_g]$ n'est pas assez large pour laisser passer le deux-roues. Si la voie $[B_d; F_g]$ était un petit peu plus large mais quand même moins large que $[B_g; C_d]$, il nous faudrait regarder les véhicules suivants. Comme le véhicule H "ferme" la voie $[B_g; C_d]$, le choix de voie dépend de la distance "évaluée" entre les véhicules E et H. Si la distance est suffisante, le conducteur du deux-roues pourra changer de voie entre ces deux véhicules (la largeur devenant insuffisante pour passer), sinon le conducteur du deux-roues choisira la voie $[B_d; F_g]$. Le choix de voie est un problème complexe compte tenu de la diversité des situations et des critères de choix.

Lorsque l'agent est bloqué dans sa voie *physique* (par exemple par une file de

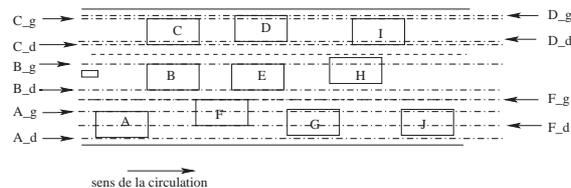


Figure 5. Exemple de voies virtuelles définies par rapport aux autres usagers et créées incrémentalement, dans le cas où aucune voie n'a pu être sélectionnée au premier tour.

voitures roulant au pas ou étant à l'arrêt), des voies *virtuelles* sont "calculées". Certaines voies sont exclues des voies "possibles" (car elles ne sont pas assez larges par

exemple), d'autres sont déclarées "possibles". Parmi ces dernières, un choix est effectué selon certains critères tels que la longueur de la voie (ou du "couloir"), la largeur de la voie, la position de la voie par rapport à leur destination. Si aucune voie n'a pu être choisie, on calcule les voies correspondant aux véhicules suivants, etc. Il faut également prendre en compte la signalisation (rétrécissement de la chaussée, passage de trois voies à deux voies) et les autres véhicules (véhicule clignotant pouvant occulter une voie *virtuelle* par exemple).

Un des phénomènes les plus courants lors de l'implémentation d'une simulation de type *prise de décision* est le phénomène d'oscillation d'une itération à l'autre. En fait, le choix d'une file de circulation doit être invariant relativement à la position de l'agent, c'est-à-dire que quelle que soit la position de ce dernier et pour un contexte fixe, son choix doit être le même. En effet, si l'agent dans une position 1 choisit d'aller vers la file de gauche, il se retrouve proche d'une position 2. Or si dans cette position, il préfère aller dans la voie de droite, il va retourner à proximité de la position 1, etc.

Ce qui ne veut pas dire que des phénomènes d'oscillation ne pourront pas apparaître. Par exemple, si une route A est plus rapide à une itération, alors beaucoup d'usagers vont y aller, la ralentissant, et accélérant d'autres routes [RAN 03]. Ce phénomène n'est pas forcément une erreur et peut être observé pour des comportements humains. Le problème est la fréquence des oscillations.

Pour l'instant, l'agent effectue ses déplacements sans *revenir sur ses choix* tant que la situation est identique (voir figure 6(a)). Le déroulement d'un déplacement se fait ainsi : l'agent circule sur une voie *physique*, il se retrouve gêné, il calcule donc ses voies *virtuelles* (voir figure 6(a)), il choisit sa voie et double un flot de véhicules. Puis il recalcule ses voies virtuelles (voir figure 6(b)) et le cheminement recommence jusqu'à ce que l'usager deux-roues ne soit plus gêné (voir figure 6(c)).

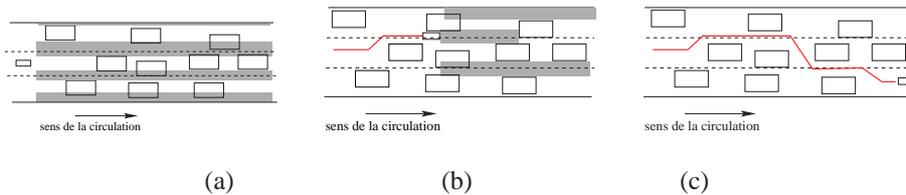


Figure 6. (a) L'agent calcule ses voies virtuelles car il est gêné. (b) L'agent se déplace sur une voie virtuelle, tant qu'il n'y a pas d'obstacle. (c) La moto change de voie virtuelle lorsque celle qu'elle emprunte change de statut.

Algorithme

Nous présentons ici un algorithme (voir figure 7) illustrant le déplacement des usagers deux-roues. Le choix de voie se fait en fonction de la voie du deux-roues, de sa

direction et des voies possibles. Des modifications dans cet algorithme seront nécessaires, surtout pour prendre en compte le niveau d'expérience, le type de comportements (niveau de prise de risque), mais également un compromis entre la longueur du "couloir" disponible et le "confort" de la voie (vitesse praticable, véhicules environnants, etc.).

La notion d'anticipation devrait être présente. Elle consiste à extrapoler de la situation courante une situation future et en une prise de décision prenant en compte cette information (comme une voiture ayant un clignotant allumé pouvant "fermer" une voie). Cet élément est primordial dans la conduite. Ainsi lors de la construction des voies ou lors du choix de la voie, l'usager deux-roues pourra prendre en compte les autres usagers et la signalisation pour éviter de doubler près d'une intersection par la droite un véhicule tournant à droite. N'étant pas le sujet de l'article, nous ne discuterons pas plus de ce problème complexe qu'est l'anticipation.

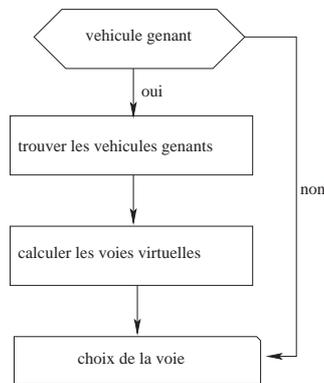


Figure 7. Algorithme formel du déplacement d'un deux-roues.

Conclusion

Grâce aux études menées en psychologie de la conduite à propos des comportements automobilistes et sur les nuances à y imposer, nous avons maintenant des informations qui peuvent être injectées dans la simulation de trafic. Notamment des études montrent que les trajectoires des deux-roues sont différentes de celles des automobilistes de par leur dynamique et leur respect non strict du code de la route. Se faufiler entre les voitures et remonter les files sont des actions propres aux deux-roues.

Pour simuler les comportements des usagers deux-roues, l'environnement doit être structuré pour que les décisions puissent être prises et les manœuvres puissent être effectuées. Pour cela, nous nous intéressons au concept de voies *virtuelles*. La notion de voies *virtuelles*, que nous présentons ici, est vue comme étant la route privée des espaces occupés par les autres véhicules. Cette notion est utilisée pour fournir aux deux-roues un espace structuré, dynamique et spécifique à l'agent considéré.

Cette approche originale, combinée à ARCHISIM, a l'avantage de permettre aux deux-roues de se déplacer n'importe où sur la route, entre les voitures ou le long de files de voitures. Mais la difficulté principale réside dans le choix de voies. Ce choix doit (1) être invariant selon la position de l'agent et le type de situation pour ne pas avoir d'oscillations, (2) prendre en compte les distances des autres véhicules, (3) prendre en compte l'état des autres véhicules (clignotant, freinage, etc.). De plus, notre simulation doit se faire en temps-réel même avec un trafic dense.

À ce jour, aucune notion d'anticipation n'est présente dans le déplacement des deux-roues. Les deux-roues sont capables de remonter une file de voitures à l'arrêt, en choisissant la voie *virtuelle* la plus large, puis de re-calculer les voies *virtuelles* lorsque la situation change (lors du dépassement de voitures arrêtées par exemple) et de changer de voie si celle empruntée se ferme.

Cette notion de voies *virtuelles* pourra être réutilisée dans le cas des piétons, dans le cas d'évitement d'obstacles dynamiques dans un environnement structuré ou pourquoi pas de personnages dans des jeux vidéo.

6. Bibliographie

- [CAC 05] CACCIABUE P. C., HOLLNAGEL E., « Modelling driving performance : a review of criteria, variables and parameters. », MACCHI L., RE C., CACCIABUE P. C., Eds., *Proceedings of the international workshop on modelling driver behaviour in automotive environments.*, Scientific and Technical Research series, Ispra, Italy, May 2005, Luxembourg : Office for Official Publication of the European Communities, p. 185-196, ISBN : 92-894-9628-2.
- [CHA 02] CHAMPION A., ZHANG M.-Y., AUBERLET J.-M., ESPIÉ S., « Behavioural simulation : towards high-density network traffic studies. », WANG K. C. P., XIAO G., NIE L., YANG H., Eds., *Proceedings of the third international conference on traffic and transportation studies (ICTTS 2002)*, Guilin, Chine, 23-25 juillet 2002, Amer Society of Civil Engineers, ISBN : 0-7844-0630-8.
- [COL 02] COLBEAU-JUSTIN L., DEPEAU S., RAMADIER T., « Incidences comportementales des fonctions du risque chez les jeunes motocyclistes. », 2002, (article soumis à RTS).
- [ELS 03] VAN ELSLANDE P., « Scénarios d'accidents impliquant des 2-roues à moteur : une question d'interaction. », BASTIEN J.-M., Ed., *Actes des Deuxièmes Journées d'Étude en Psychologie Ergonomique (ÉPIQUE'2003)*, Boulogne-Billancourt, 2-3 octobre 2003, p. 71-84.
- [ESP 94] ESPIÉ S., SAAD F., SCHNETZLER B., BOURLIER F., DJEMANE N., « Microscopique traffic simulation and driver behaviour modelling : the ARCHISIM project. », *Proceedings of the conference RoadSafety in Europe and Strategic Highway Research Program (SHRP)*, 1994, p. 22-31.
- [ESP 02] ESPIÉ S., « *Organisation et applications des SMA.* », chapitre 9, Hermes Science Publications, 2002.
- [FIL 05] FILOU C., LAGACHE M., CHAPELON J., *Les motocyclettes et la sécurité routière en France en 2003.*, La documentation française, 2005, ISBN : 2-11-005951-6.

- [gis02] *Gisements de sécurité routière II.*, Les dossiers de la direction de la recherche et des affaires scientifiques et techniques ; Direction de la recherche et des affaires scientifiques., 2002, ISBN : 2-11-093210-4.
- [HAD 00] HADOUAJ S. E., DROGOUL A., ESPIÉ S., « How to Combine Reactivity and Anticipation : The Case of Conflicts Resolution in a Simulated Road Traffic », DAVIDSSON P., MOSS S., MOSS S. J., Eds., *Multi-Agent-Based Simulation : Second International Workshop*, Boston, July 2000, Springer-Verlag Telos, p. 82-96.
- [MIC 85] MICHON J., « A critical view of driver behavior models : what do we know, what should we do ? », EVANS L., SCHWING R., Eds., *Human Behavior and Traffic Safety*, p. 485-530, Plenum, 1985.
- [MIN 05a] MINH C. C., MATSUMOTO S., SANO K., « Characteristics of passing and paired riding maneuvers of motorcycle. », *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies.*, vol. 6, 2005, p. 186-197.
- [MIN 05b] MINH C. C., MATSUMOTO S., SANO K., « The speed, flow and headways analyses of motorcycle traffic. », *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies.*, vol. 6, 2005, p. 1496 - 1508.
- [par] http://www.paramics-online.com/demos/demos_movies.htm.
- [RAN 03] RANEY B., NAGEL K., « An agent-based simulation model of swiss travel : first results. », *3rd Swiss Transport Research Conference (STRC 03)*, 19-21 March 2003, <http://www.strc.ch/2003.html>.
- [REE 91] REECE D., SHAFER S., « A Computational Model of Driving for Autonomous Vehicles », rapport n° CMU-CS-91-122, April 1991, Computer Science Department, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA.
- [REY 99] REYNOLDS C., « Steering Behaviors for Autonomous Characters », *Game Developers Conference 1999*, 1999, url : <http://citeseer.ist.psu.edu/reynolds99steering.html>.
- [SAA 88] SAAD F., « Prise en compte ou non perception du danger. », *Recherche Transports Sécurité 18-19*, Lavoisier, 1988, p. 55-62.
- [TEK 02] TEKNOMO K., « Microscopic Pedestrian Flow Characteristics : Development of an Image Processing Data Collection and Simulation Model. », PhD thesis, Department of human Social Information Sciences - Graduate School of Information Sciences - Tohoku University - Japan, March 2002.

Annexe pour le service de fabrication

Article pour les actes :

JFSMA'06

Auteurs :

Laetitia BONTE^{,**} — Stéphane ESPIÉ^{*} — Philippe MATHIEU^{**}*

Titre de l'article :

Modélisation et simulation des usagers deux-roues motorisés dans ARCHISIM.

Titre abrégé :

Simulation des usagers deux-roues.

Traduction du titre :

Motorcyclist modelisation and simulation in ARCHISIM project.

Date de cette version :

17 octobre 2006

Coordonnées des auteurs :

- téléphone : 01 47 40 70 20
- télécopie : 01 45 47 56 06
- Email : bonte@lifl.fr

Logiciel utilisé pour la préparation de cet article :

L^AT_EX, avec le fichier de style `article-hermes.cls`,
version 1.10 du 17/09/2001.

Formulaire de copyright :

Joindre le formulaire de copyright signé, récupéré sur le web à l'adresse
<http://www.hermes-science.com>