Validation de PACSIM

par E. Cornélis

Report 94/11 April 27, 1994

Groupe de Recherche sur les Transports
Département de Mathématique
Facultés Universitaires ND de la Paix
Rempart de la Vierge,8, B-5000 Namur, Belgium, EC

Email : ec@math.fundp.ac.be

Current reports available by anonymous ftp from the directory
"pub/reports" on thales.math.fundp.ac.be (internet 138.48.4.14)

Keywords: Transportation research, models

Validation de PACSIM *

Eric CORNELIS

April 27, 1994

Abstract

Cette note a pour but de rendre compte des étapes qui ont été entreprises afin de valider le modèle (unimodal) PACSIM. Une première phase a consisté en la vérification des nouveaux mécanismes mis en oeuvre :priorités aux carrefours, feux rouges, ... La seconde a permis de comparer les résultats obtenus à l'aide de PACSIM avec ceux de CITY, un modèle statique développé précédemment dans notre groupe.

1 Introduction

Notre projet MUMTRIPS, inscrit dans le programme d'impulsion "Transport et Mobilité" mis en oeuvre par les S.P.P.S., s'intéresse au déplacement de personnes dans un environnement intraurbain. Dans le cadre de la réalisation d'un modèle de trafic qui soit, à la fois, dynamique, intraurbain, comportemental et multimodal, nous mettons en oeuvre le programme PACSIM. À ce stade du projet, ce modèle est déjà dynamique, intraurbain et comportemental mais ne concerne encore qu'un seul mode de transport : les véhicules privés. Avant d'aller plus loin et d'implémenter les mécanismes relatifs aux trajets multimodaux et plus particulièrement aux transports en commun, nous avons voulu tester la validité de notre modèle.

Il s'agit tout d'abord de vérifier que les nouveaux mécanismes mis en oeuvre pour gérer, notamment, les carrefours fonctionnent correctement. Pour ce faire, nous avons lancé PACSIM sur une modélisation test concernant l'agglomération namuroise. Comme nous le détaillerons dans la section suivante, cette phase nous a permis de détecter et corriger certaines anomalies constatées.

Ensuite, nous avons voulu tester la qualité des résultats obtenus avec PACSIM. Pour ce faire, nous avons de nouveau testé notre modèle sur les données concernant l'agglomération namuroise. Malheureusement, le seul point de comparaison qui s'offrait à nous concernait des résultats statiques. Nous avons donc envisagé avec PACSIM le trafic moyennisé sur une journée. Ces résultats ont été mis en relation avec ceux obtenus avec le modèle (statique) de trafic CITY développé précédemment par Michel BIERLAIRE, Didier BURTON et Philippe TOINT dans notre groupe de recherches. L'analyse de ces comparaisons fait l'objet de la section 3.

*Cette étude a été réalisée dans le cadre du contrat TR/B7/11 du programme d'impulsion "Transport et Mobilité" des S.P.P.S.

Enfin, nous conclurons cette note par quelques mots sur la manière dont notre modèle va évoluer vers une approche multimodale.

2 Mécanismes relatifs aux carrefours

Nous sommes partis, pour développer notre modèle, du programme PACSIM développé dans le cadre du projet IMAURO qui s'inscrivait dans le programme DRIVE de la C.E.E. [9]. Mais notre projet s'intéresse plus spécifiquement au trafic dans un milieu intraurbain. Or, dans un centre d'agglomération, la plupart des embarras de circulation sont liés aux croisements. Par conséquent, il nous a paru important de mettre au point, dans notre modèle, des mécanismes permettant de rendre compte de ces phénomènes.

Le premier type de carrefours qu'un conducteur peut rencontrer dans une agglomération est un croisement où la priorité (que ce soit la priorité de droite "classique" ou bien une priorité induite par une signalisation ou des marquages au sol) règle le passage successifs des divers flots de véhicules. Le second concerne les intersections où les flux de circulation sont régulés à l'aide de feux tricolores.

2.1 Structures de données et mécanismes mis en oeuvre

Notre premier développement a consisté à mettre en oeuvre des structures de données représentant ces deux types de carrefours. Celles-ci ont été décrites dans un rapport préliminaire [8]. Nous avons également mis en place des procédures permettant de créer puis de lire (pour stockage dans notre modèle) des fichiers reprenant, dans une syntaxe aussi proche que possible du langage naturel de l'utilisateur, les données relatives à ces divers carrefours. Cette syntaxe a été, elle aussi, décrite dans [8] et les figures 1 et 2 montrent des exemples de fichiers de données respectivement pour un carrefour à priorité et pour un carrefour avec feux de signalisation.

```
JUNCTION 12162
  FROM 12153 TO 20219
            PRIORITY FROM 20220 TO 12153
  FROM 12153 TO 20220
  FROM 20219 TO 12153
  FROM 20219 TO 20220
            PRIORITY FROM 12153 TO 20220
  FROM 20220 TO 12153
            PRIORITY FROM 20219 TO 12153
  FROM 20220 TO 20219
```

Table 1: données relatives aux priorités dans un carrefour

Une fois les structures de données présentes, il a fallu modéliser le comportement des usagers lorsqu'ils vont devoir franchir un carrefour. Vu les différentes règles de priorité (ou la phase

```
JUNCTION 11153
 AT_BEGIN 10
     GREEN 30 AMBER 5
          FROM 11152 TO 12138
          FROM 11152 TO 12140
     GREEN 40 AMBER 5
          FROM 12138 TO 11152
               PRIORITY FROM 12140 TO 11152
               PRIORITY FROM 12140 TO 12138
          FROM 12138 TO 12140
          FROM 12140 TO 11152
          FROM 12140 TO 12138
     GREEN 20 AMBER 5
          FROM 12138 TO 11152
          FROM 11152 TO 12138
```

Table 2: extrait du fichier de données relatif aux carrefours avec feux

des feux), l'usager ne pourra pas nécessairement franchir une intersection dés le moment où il s'y présente. Par conséquent, des files de véhicule en attente peuvent se créer en amont du croisement. Nous devons donc avec notre modèle gérer les éventuels temps d'attente et cette création de files. La manière dont cela a été réalisé dans PACSIM se trouve explicitée dans [7].

2.2 Test de ces mécanismes

Le bon fonctionnement de ces mécanismes devait alors être testé. Pour cela, nous disposions de données concernant la modélisation de l'agglomération namuroise. Cet ensemble de données reprend 732 arcs (au niveau détaillé), 269 noeuds et 245 carrefours. Nous avons écrit les fichiers de données relatifs aux priorités et aux feux de signalisation pour ces derniers. Ensuite, nous avons lancé notre programme PACSIM sur cet ensemble de données. Bien entendu, cela n'a pas marché du premier coup et la phase de tests a révélé divers disfonctionnements qui ont été corrigés au fur et à mesure. Nous allons, dans les paragraphes suivants, esquisser quelques uns de ces problèmes ainsi que la manière avec laquelle nous y avons remédié.

Lorsqu'un paquet[1] de véhicules arrive à un croisement avec feux à la fin de la phase verte qui doit lui permettre de passer, un certain nombre de véhicules ne peuvent franchir le carrefour dans le laps de temps restant. Il faut alors déterminer à quel moment ces véhicules pourront de nouveau tenter de franchir le croisement. Une première "tentative" consistait à faire attendre ces véhicules pendant un laps de temps correspondant à un cycle des feux puis à les faire redémarrer.

[1] Rappelons que, dans notre modèle, nous regroupons les véhicules par paquets ayant un certain nombre de caractéristiques en commun :direction, ... afin de restreindre le nombre de données à manipuler.

Mais, de cette façon, le délai qui leur est accordé pour franchir le croisement reste toujours aussi court puisque, de nouveau, ils tentent de le faire à la fin de la phase verte. Ce problème s'est marqué dans nos tests par la création de files de véhicules stoppés indéfiniment en amont d'un carrefour à feux. Nous avons alors envisagé une autre manière de faire. Cette fois, les véhicules bloqués ne sont plus en attente que pendant un temps correspondant à la fin de la phase verte pendant laquelle ils se sont présentés au carrefour (qu'ils n'ont pu franchir parce que le temps restant était trop court) et à la phase rouge pendant laquelle ils ne peuvent bien évidemment pas s'engager dans la jonction. Par conséquent, ils peuvent (tenter de) franchir le carrefour dès le début de la prochaine phase verte se présentant (et ont donc un laps de temps plus long pour mener à bien cette manoeuvre). Une fois ce comportement modélisé de cette façon, les tests avec l'implémentation modifiée dans ce sens n'ont plus présenté les "anomalies" décrites ci-dessus.

Pour ne pas multiplier le nombre de paquets de véhicules à déplacer et donc le temps de simulation, nous regroupons certains de ceux-ci lorsqu'ils se retrouvent sur un même arc de circulation et ont pour destination le même point de l'agglomération[2]. Deux flots stoppés par un feu rouge peuvent donc être fusionnés s'ils ont même destination. Mais, rien ne dit qu'il leur était assigné par le modèle même route pour y parvenir. Par conséquent, il se peut que, dans le carrefour devant lequel ils sont arrêtés, ils prennent des directions différentes (p. ex. un paquet pourrait tourner à gauche et l'autre à droite). Cela peut entraîner qu'ils doivent attendre des temps différents avant de s'engager dans le croisement (pensons au cas des "flèches vertes" pour les "tourne-à-droite"). Leurs "horloges internes" qui, dans la simulation, retiennent le moment à partir duquel le programme peut les déplacer indiqueront donc des heures différentes. Lorsque l'on fusionnera les deux paquets, c'est la plus proche dans le déroulement de la simulation qui sera retenue pour le nouveau paquet créé. Mais, c'est la route correspondant au premier paquet arrivé qui sera, elle, retenue pour ce nouveau paquet. Cela peut créer des problèmes comme nous l'avons détecté dans nos test. En effet, pour emprunter cette route, ce paquet doit peut être attendre plus longtemps que le moment indiqué par son "horloge interne" (c'est le cas s'il doit effectuer, pour suivre la route qui lui est assignée, un "tourne à gauche" alors que le moment de redémarrage correspond lui à la présence d'une "flèche verte" pour un "tourne à droite"). Face à ces paquets voulant redémarrer à un moment où cela leur était interdit de par la configuration, à cet instant, des feux de signalisation, nous avons dû rectifier l'implémentation pour qu'en pareil cas, l'"horloge interne" soit bien ajustée en fonction de la route qui devra effectivement être suivie par le paquet résultant de la fusion.

D'autres erreurs, plus de détails, ont également pu être corrigées lors de cette phase de tests.

3 Comparaison avec le modèle statique CITY

Une fois le fonctionnement correct des différents mécanismes implémentés vérifié, il nous restait à valider les résultats obtenus avec PACSIM. Hélas, nous ne pouvions envisager de calibrer le modèle réellement dynamique. En effet, d'une part, nous ne disposions pas directement de données sur

[2] D'autres caractéristiques doivent encore être communes mais nous n'entrerons pas dans plus de détails dans cette note.

une demande de trafic dynamique[3] et, d'autre part, aucun autre modèle dynamique n'a été utilisé sur l'agglomération namuroise, notre zone de test. Par conséquent, nous avons décidé de nous restreindre à une validation statique. Pour ce faire, nous avons globalisé, pour les différents arcs de la zone modélisée, les flux obtenus pour les diverses tranches de temps par PACSIM. Ainsi, nous obtenons le trafic journalier (moyennisé) sur ces axes de circulation. Ensuite, nous avons comparé ces résultats à ceux obtenus, pour la même matrice de demande, avec le programme CITY dont la validité a déjà été établie au fil des utilisations que notre groupe [5, 1, 2] en a faites pour des études dans l'agglomération namuroise.

3.1 Le modèle CITY

Le modèle CITY a été développé par Michel BIERLAIRE, Didier BURTON et Philippe TOINT au sein de notre groupe de recherches [6, 3, 4]. Il s'agit d'un modèle à trois étapes : génération, répartition, assignation.

Pour ce faire, il se base sur des données concernant la population des quartiers de la zone modélisée ainsi que certaines de leurs caractéristiques sociologiques, l'émissivité et l'attractivité de ces quartiers pour les divers motifs de déplacement (travail, école, culture, Horeca, santé, commerce).

La méthode utilisée pour l'assignation des flux de trafic est celle des "chemins raisonnables" ([10]). Un paramètre permet cependant de spécifier dans quel spectre le modèle retient les routes à utiliser. Dans notre cas, nous avons donné à ce paramètre une valeur telle que seuls les plus courts chemins sont choisis pour assigner le trafic. Nous avons retenu cette hypothèse afin de rester compatible avec la méthodologie employée pour PACSIM.

Ce modèle est statique et fournit donc comme résultats les flux journaliers moyens sur les axes modélisés.

Dans le cadre de nos tests, nous avons utilisé, pour CITY, une modélisation du réseau de circulation dans l'agglomération namuroise comprenant 147 noeuds (quartiers), 24 points d'entrée dans la zone modélisée et 400 arcs.

3.2 Adaptation des données

Dans la comparaison, une première phase a consisté en une mise en cohérence des données. Nous avons vérifié, pour tous les axes de circulation communs dans les données des deux modèles, si leurs caractéristiques étaient bien semblables. Cela a nécessité une certaine attention car la découpe d'une route en divers arcs n'est pas nécessairement la même dans les deux modèles. Il nous a donc fallu être particulièrement attentifs pour que les diverses routes soient représentées par des arcs de même longueur et pouvant être parcourus à la même vitesse.

Il nous faut cependant attirer l'attention sur le fait que le réseau modélisé peut légèrement différer d'un modèle à l'autre notamment pour certaines voiries de desserte plus ou moins locale qui n'ont pas toujours été reprises dans les deux modèles.

[3] Mais nous pourrions si nécessaire extrapoler celle-ci à partir d'une demande statique en nous basant sur des courbes montrant la répartition des flots de trafic sur une journée dans l'agglomération namuroise [5].

Enfin, nous avons établi une correspondance entre les noeuds des deux modèles afin de, comme nous le verrons plus loin, pouvoir écrire une matrice de demande pour PACSIM à partir de la matrice de flots résultant de l'exécution de CITY.

3.3 Méthode de comparaison

Nous avons tout d'abord lancé CITY sur nos données concernant l'agglomération namuroise. Les résultats de cette exécution sont de deux types : tout d'abord, une moyenne journalière des flux de trafic sur les différents axes (dans chaque sens) et ensuite, une matrice des flots origine/destination pour les différents noeuds.

Le nombre journalier de véhicules empruntant un axe de circulation nous servira, comme nous le verrons dans la section suivante, pour pouvoir effectuer une comparaison des résultats des deux modèles.

La matrice des flots, quant à elle, est utilisée pour la création des données concernant la demande (forcément statique dans ce cas) pour PACSIM. Pour ce faire, nous avons écrit un programme reprenant cette matrice et fournissant, après adaptation des origines et destinations conformément à la correspondance entre noeuds évoquée plus haut, un fichier reprenant la demande (moyenne sur la journée) nécessaire comme donnée pour le fonctionnement de PACSIM.

Nous étions alors en possession de toutes les données indispensables pour l'exécution de PACSIM. Nous avons alors fait tourner le programme pour une simulation d'une journée. Pour celle-ci, nous avons utilisé des données ne prévoyant ni perte de priorité ni arrêt occasionné par des feux rouges. En effet, ces phénomènes n'étant pas pris en compte par CITY, nous n'avons voulu qu'ils puissent interférer dans notre comparaison.

Après cette simulation effectuée avec PACSIM, nous disposions donc du nombre de véhicules empruntant, sur la journée, chacun des axes modélisés. Il ne nous restait plus qu'à comparer ces résultats à ceux obtenus auparavant avec CITY.

3.4 Comparaison des résultats

Dans cette section, nous allons présenter les résultats obtenus pour les flots journaliers moyens à l'aide de chacun de nos deux modèles (CITY et PACSIM). Il serait bien entendu fastidieux de reprendre ici les flux de chacun des axes de circulation modélisés. Aussi, allons nous nous en tenir à détailler ceux-ci pour un échantillon pris parmi plusieurs centaines de résultats. Notre comparaison nous a permis de trouver que, sur la plupart des arcs, les résultats obtenus sont en bonne concordance. Nous verrons d'abord un aperçu d'artères principales de l'agglomération namuroise où nous pouvons observer cette adéquation. Elle nous a aussi montré que, pour certains axes, la situation est moins bonne. Mais, dans de pareils cas, comme nous le verrons plus loin sur des exemples significatifs, des différences dans la modélisation du réseau namurois permettent d'expliquer ces discordances.

3.4.1 Concordance des résultats

La table 3 vous donne les flots journaliers moyens calculés à l'aide des deux modèles pour quelques axes significatifs, choisis à la fois en périphérie, aux entrées de la Corbeille[4] ou bien encore à l'intérieur de celle-ci.

Axe	CITY	PACSIM
Chaussée de Dinant (Wépion)	4360	4555
Rue de Jambes (Dave)	3039	2564
Route de Hannut	8469	8070
Chaussée de Louvain (Bouge)	2026	2050
Chaussée de Waterloo (Belgrade)	5080	5134
Chaussée de Charleroi	11364	11422
Pont de France	8234	8224
Pont des Ardennes	6727	6645
Avenue Albert 1er	9396	8888
Rue de Fer	4630	4717
Rue Borgnet	2077	1859
Rue Godefroid	1230	1987
Boulevard Ernest Mélot	9540	9929
Rue Grafé	1500	1522

Table 3: Flots journaliers moyens sur quelques axes significatifs dans l'agglomération namuroise

Remarquons que ces flots ne concernent, à chaque fois, qu'un sens de circulation pour ceux d'entre ces arcs qui peuvent être parcourus dans les deux sens. Nous voyons une très bonne concordance entre les résultats fournis par nos deux modèles. Il n'est pas inutile de rappeler encore une fois qu'il s'agit là d'une comparaison “statique”, c'est-à-dire que les flux indiqués comme résultant de PACSIM sont la somme, sur la journée des flots empruntant ces routes pendant les diverses tranches de temps s'écoulant durant la simulation.

3.4.2 Différences explicables

Dans d'autres cas, la similitude entre les résultats fournis par les deux programmes n'est pas aussi bonne. Mais, nous pouvons expliquer ces différences par des modélisations légèrement différentes des réseaux mis en cause suivant le modèle choisi. Nous allons voir cela sur deux exemples typiques.

Le premier concerne le trafic en provenance de Malonne. Si nous observons, par exemple, les flots de trafic sur la Rue de la Marlagne en direction de Namur, nous obtenons, avec CITY, un résultat de 10222 véhicules alors que PACSIM fournit un flux de 13738 véhicules. Mais,

[4] Il s'agit là du réel centre urbain dans la ville de Namur

lorsque nous analysons de plus près la situation, nous voyons que, dans CITY, un autre axe relie la Citadelle au centre urbain : la descente via l'Avenue Milieu du Monde et la Route des Panoramas vers le pont de l'Évêché. Cet axe peut donc également servir aux usagers en provenance de Malonne se rendant en ville. Et nous voyons en effet que ce parcours draine un flux de 4934 véhicules qui s'ajoutant aux 10222 empruntant la Rue de la Marlagne nous donne un résultat beaucoup plus proche de celui obtenu avec PACSIM. La discordance observée relève donc du fait que, dans CITY, deux itinéraires s'offrent au trafic rejoignant le centre-ville au départ de Malonne alors qu'une seule route est modélisée et donc accessible à ces usagers dans PACSIM.

Le second exemple se situe à une autre extrémité de la zone modélisée. Lorsque nous analysons le trafic en provenance de Courrière qui emprunte la N4, nous observons une fois encore des différences entre les résultats de CITY et ceux de PACSIM. En effet, PACSIM signale un flux de 8449 véhicules sur la N4 à hauteur de Wierde alors que CITY donne lui 12806 véhicules comme résultat. Mais ces chiffres doivent être corrélé¡s avec ceux obtenus pour l'autoroute des Ardennes. Là, nous obtenons un flot de 7209 véhicules avec PACSIM et de 1366 véhicules avec CITY. Globalement, les flots en provenance de Courrière sont donc fort semblables (15658 véhicules avec PASCIM et 14172 avec CITY). Il nous reste à expliquer ce transfert de trafic de l'autoroute vers la N4 quand nous passons d'un modèle à l'autre. De nouveau, cela est lié à des différences dans la modélisation. Pour CITY, un point de pénétration dans la zone modélisée est situé à la sortie de l'autoroute à hauteur de Naninne. Et, en fait, de là, les utilisateurs empruntent la N4 vers Jambes. Par contre, dans PACSIM, l'origine des véhicules n'est pas située à la sortie de l'autoroute mais bien sur celle-ci (à la même hauteur que précédemment). De ce fait, les usagers restent sur celle-ci pour en descendre à Lives où ils empruntent le Pont des Grands-Malades.

Nous pouvons donc voir au travers de ces exemples que les différences apparaissant dans les résultats peuvent être analysées et expliquées en fonction des différences préalables dans la modélisation du réseau.

4 Conclusions

Notre modèle PACSIM a donc subi divers tests qui nous ont permis, d'une part, de vérifier que les différents phénomènes relatifs aux carrefours ont bien été modélisés et, d'autre part, que les résultats fournis sont bien corrects. Rappelons une dernière fois que nous avons dû nous contenter dans ce cas d'une comparaison avec un modèle statique et que les résultats obtenus sont relatifs aux flots moyens journaliers sur les différents axes.

Nous avons donc maintenant à notre disposition un modèle urbain, comportemental et dynamique mais toujours unimodal. La phase suivante de nos développements va consister à rendre ce modèle multimodal en y incorporant, entre autres, les transports en commun. Nous avons déjà mis en oeuvre les diverses structures de données relatives, entre autres, aux descriptions des arrêts, des lignes et des horaires. Il nous faut à présent écrire les routines modélisant le déplacement des véhicules de transport en commun que ce soit en site propre (train, métro) ou sur les axes partagés avec les véhicules privés (bus, trams). Il nous faudra également gérer les problèmes relatifs aux attentes et aux correspondances pour les usagers des transports publics.

Là aussi, l'influence des systèmes d'information devra pouvoir être testée. Bien entendu, nous tiendrons également compte des déplacements multimodaux.

References

[1] M. Bierlaire, D. Burton, and S. Thiry. Le contournement de Couvin: étude préliminaire. TRG Report 89/11, Department of Mathematics, FUNDP, 1989.

[2] M. Bierlaire and E. Cornelis. Etude de l'impact sur la circulation de l'implantation des bureaux de la Région Wallonne à Jambes. GRT Report 89/12, Department of Mathematics, FUNDP, 1989.

[3] M. Bierlaire and Ph. Toint. Rapport d'activité GEC-RW (mai 1989 – octobre 1989). Grt report, Department of Mathematics, FUNDP, Namur, Belgium, 1989.

[4] M. Bierlaire and Ph. Toint. Rapport d'activité GEC-RW (novembre 1989 – avril 1990). Grt report, Department of Mathematics, FUNDP, Namur, Belgium, 1990.

[5] M. Bierlaire and Ph. L. Toint. La circulation à Namur: projets d'aménagement. GEC Report 90/14, Department of Mathematics, FUNDP, Namur, Belgium, 1990.

[6] D. Burton and Ph. Toint. Rapport d'activité GEC-RW (mai 1988 – octobre 1988). Gec report, Department of Mathematics, FUNDP, Namur, Belgium, 1988.

[7] E. Cornelis and Ph. Toint. Note sur l'avancement du projet MUMTRIPS. Internal report 93/06, Transportation Research Group, FUNDP, Dpt of Mathematics, 1993.

[8] E. Cornelis and Ph. L. Toint. Mumtrips, rapport n.2. , Transportation Research Group, FUNDP, Dpt of Mathematics, april 1992.

[9] Ph. Dehoux and Ph. L. Toint. Some comments on dynamic modelling, in the presence of advanced driver information systems. In G. Argyrakos, M. Carrara, O. Cartsen, P. Davies, W. Mohlenbrink, M. Papageorgiou, T. Rothengatter, and Ph. L. Toint (Commission of the European Communities DG XIII), editors, *Advanced Telematics in Road Transport*, pages 964–981, Amsterdam, 1991. Elsevier.

[10] R. B. Dial. A probabilistic multipath traffic assignment algorithm which obviates path enumeration. *Transportation Research*, 5(2):83–111, 1971.