



## Des carrefours “ intelligents ” pour une meilleure gestion du trafic urbain

Cherif Tolba, Dimitri Lefebvre, Philippe Thomas, Abdellah Elmoudni

### ► To cite this version:

Cherif Tolba, Dimitri Lefebvre, Philippe Thomas, Abdellah Elmoudni. Des carrefours “ intelligents ” pour une meilleure gestion du trafic urbain. [Rapport Technique] Université Le Havre Normandie. 2008, 9 p. hal-00344251

**HAL Id: hal-00344251**

**<https://hal.science/hal-00344251>**

Submitted on 4 Dec 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## CAHIER DU CAMPUS LOGISTIQUE N°2

### Des carrefours « intelligents » pour une meilleure gestion du trafic urbain

Chérif Tolba<sup>1</sup> — Dimitri Lefebvre<sup>2</sup> — Philippe Thomas<sup>3</sup> — Abdellah ElMoudni<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Behr France, Rouffach SAS, 5 avenue de la Gare – F-68250 Rouffach, France  
cherif.tolba@laposte.net

<sup>2</sup> GREAH, Université du Havre, 25 rue P. Lebon, 76063, Le Havre, France  
dimitri.lefebvre@univ-lehavre.fr

<sup>3</sup> CRAN, Université de Nancy, ENSTIB, 27 rue du merle blanc, 88051, Epinal, France  
philippe.thomas@cran.uhp-nancy.fr

<sup>4</sup> SeT, Université de Belfort-Montbéliard, 90010 Belfort, France  
abdellah.elmoudni@utbm.fr

---

**RÉSUMÉ.** La gestion du trafic en milieu urbain nécessite le déploiement de solutions techniques innovantes pour améliorer la fluidité des déplacements et la qualité environnementale des transports de personnes et marchandises. Le laboratoire des Systèmes et Transports à Belfort en collaboration avec le CRAN à Nancy et le GREAH au Havre ont développé une commande adaptative des feux de carrefour à l'aide de réseaux de Petri hybrides. Cette commande est basée sur la modélisation de la dynamique hétérogène et non linéaire du trafic. La commande formalisée à l'aide d'automates permet de gérer de façon autonome les temps de cycle et les temps de vert en fonction de la taille des files d'attente en présence sur les différentes voies d'un même carrefour. Elle est simulée sur des feux de carrefours isolés et est étendue à la régulation du trafic dans un réseau de plusieurs carrefours. Les détails techniques seront publiés en 2008 dans le Journal Européen des Systèmes Automatisés.

**MOTS-CLÉS :** gestion du trafic, réseau de Petri hybride, système non linéaire, approche multi - modèle, commande événementielle, automate.

**ABSTRACT.** Urban traffic regulation requires innovative solutions to improve the transportation of humans and materials. The laboratories SeT in Belfort, CRAN in Nancy and GREAH in Le Havre (France) develop adaptive policies for traffic lights control by using hybrid Petri nets. These policies made it possible to implement discrete event controllers based on thresholds detection. The resulting controllers are used to control traffic lights in isolated crossroad. The approach is also extended to traffic control in large scale networks. The methods will be detailed in the European Journal of Automotive Systems in 2008.

**KEYWORDS:** traffic control, hybrid Petri nets, non linear systems, multi - model approach, event controllers, automata.

---

## 1. Introduction

Depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, les villes n'ont pas cessé de s'étendre. Afin d'absorber les flux de personnes et de marchandises, les voies de circulation se sont multipliées jusqu'à représenter, presque, la moitié de la superficie totale des zones urbaines. Cet accroissement du nombre de voies de circulation n'est cependant pas suffisant, provoquant l'apparition de phénomènes de congestion et de files d'attente, et conduisant à la dégradation de la qualité de service et de la sécurité des infrastructures routières.

Le trafic urbain peut être assimilé à un système dynamique hybride (interactions de phénomènes continus et discrets). L'évolution des files d'attente est décrite par des équations continues et l'occurrence d'événements (feux de signalisation, incidents,...) par des automates discrets. La synthèse de lois de commande pour les systèmes hybrides se situe au cœur des recherches menées actuellement (Antsaklis et Koutsoukos, 2002) et de nombreuses stratégies de commande des feux de signalisation ont été mises en place (Papageorgiou *et al.*, 2003). Ces stratégies reposent principalement sur l'estimation des temps d'attente et des longueurs des files d'attente aux intersections. Ces paramètres permettent d'évaluer la qualité de service des intersections à feux. L'approche traditionnelle utilise des plans de signalisation à période fixe pour lesquels les durées des feux sont prédéterminées. Dans ce cas, les paramètres essentiels de la commande, comme la durée du cycle, le partage du vert et les décalages sont calculés à partir d'un historique des données. Bien que la réalisation de cette stratégie soit basée sur des données recueillies sur le terrain, la gestion du trafic reste éloignée d'une exploitation optimale des ressources car on ne parvient pas à suivre les fluctuations de la demande.

Des avancées significatives dans les domaines de l'informatique, de l'automatique et de l'instrumentation, permettent de calculer des paramètres de la commande des feux en temps réel à partir de mesures transmises par des boucles électromagnétiques ou des caméras numériques. Ces stratégies de commandes adaptatives régulent l'état des feux en fonction de la présence ou non de véhicules à l'intersection. De nombreux simulateurs sont ainsi développés pour la régulation des réseaux urbains : « SCOOT » (Hunt *et al.*, 1981 ; Hansen *et al.*, 2000) ; « PROLYN » (Henry, 1983 ; Khoudour *et al.*, 1991) ; « OPAC » (Gartner *et al.*, 1991) ; « SCATS » (Sims et Finaly, 1984 ; Taylor et Abdel-Rahim, 1998) ; « CRONOS » (Boillot, 2002).

Le laboratoire des Systèmes et Transports à Belfort en collaboration avec le CRAN à Nancy et le GREAH à l'Université du Havre développent une commande adaptative des feux de carrefour à l'aide des réseaux de Petri hybrides (RdPH). Les RdPH modélisent les dynamiques hétérogènes dans le carrefour : la circulation des véhicules est caractérisée par un comportement continu et les phases de feu par un comportement discret. Ces deux comportements sont respectivement modélisés par des RdP continus à vitesses variables (RdPCV) (Tolba *et al.*, 2001) et des RdP Temporisés (RdPT) (Tolba *et al.*, 2003). Après avoir modélisé l'écoulement du trafic ainsi que les interactions événementielles résultant du changement de l'état des feux de signalisation, le comportement non linéaire du trafic est décomposé en multi-modèles linéaires. La détection des limites des domaines de validité de ces modèles permet d'évaluer l'état du trafic et par conséquent de commuter ou non le feu. Les détails techniques seront publiés en 2008 dans le Journal Européen des Systèmes Automatisés.

## 2. Topologie des infrastructures

Les systèmes étudiés sont des réseaux de voiries urbaines composés de un ou plusieurs carrefours à feux. L'élément constitutif de base est un carrefour avec deux voies ( $L_1$ ,  $L_2$ ) et deux feux de signalisation ( $T_1$ ,  $T_2$ ) implantés à l'extrémité du carrefour (figure 1). Les voies du carrefour sont caractérisées par des taux d'arrivée moyens  $\mu_1$  et  $\mu_2$ . Des boucles de détection de véhicules ( $B_1$ ,  $B_2$ ) sont implantées à l'entrée des voies  $L_1$  et  $L_2$ , à des distances  $d_1$  et  $d_2$  de la ligne d'arrêt. Chaque voie est de capacité limitée égale à  $c$ . La vitesse libre  $v_{free}$  correspond à la vitesse maximale que peut atteindre un véhicule empruntant le carrefour. Le trafic s'écoule dans deux directions: Ouest-Est ( $O-E$ ) et Nord-Sud ( $N-S$ ). Par souci de simplicité, les voies de circulation sont supposées être à sens unique et excluent les mouvements de tournes à gauche et à droite. De plus le feu a deux états « vert » et « rouge ». La durée du feu « orange » est ajoutée à celle du feu « rouge ». Plusieurs carrefours isolés peuvent être interconnectés pour constituer un réseau d'intersections (figure 2).

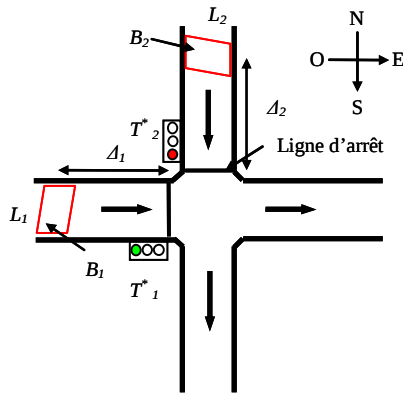


Figure 1. Carrefour isolé

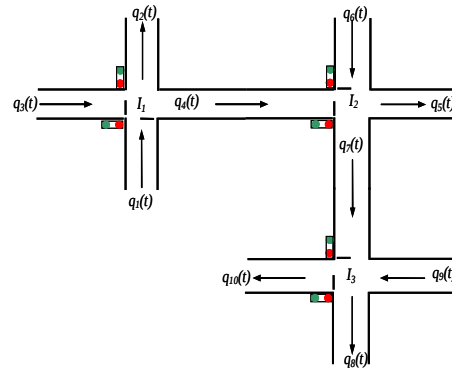


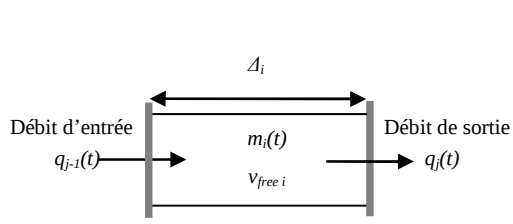
Figure 2. Réseau de trois intersections

### 3. Modélisation des réseaux d'intersections par RdP hybrides

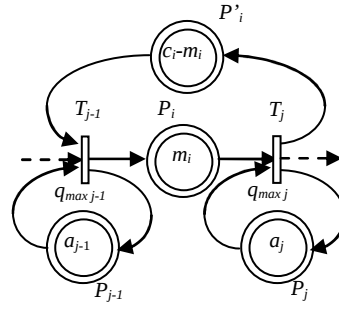
Les réseaux de Petri hybrides (RdPH) sont une extension des RdP. Dans les RdPH, la représentation des systèmes à comportements hétérogènes est décrite par deux parties distinctes : une partie continue correspondant à un RdPCV et une partie discrète correspondant à un RdPT déterministe ou stochastique (David et Alla, 1992 ; Le Bail *et al.*, 1991). Le marquage d'une place continue est représenté par un nombre réel positif, et celui d'une place discrète est représenté par un nombre entier non négatif. Le franchissement d'une transition discrète peut entraîner une modification sur le marquage du RdPCV et vice versa. L'intersection de la figure 1 est un système hybride (Lei et Ozguner, 2001) dans lequel l'écoulement du trafic sur les voies peut être représenté par un RdPCV et le changement des états de feu par un RdPT (Di Febbraro *et al.*, 2004 ; Tolba *et al.*, 2004, Tolba 2004).

#### 3.1. Modèle d'une section de voirie

Nous allons présenter le modèle RdPH d'un carrefour à feux en exploitant une approche modulaire consistant à décomposer le fonctionnement du carrefour en deux modules principaux (feux de signalisation et écoulement du trafic). Chaque section de voirie (figure 3) est représentée par une place  $P_i$  continue (représentée par un double cercle, figure 4) dans laquelle le marquage  $m_i$  représente le nombre de véhicules présents sur la section (Tolba *et al.*, 2001). Chaque place  $P_i$  est associée à une place continue  $P'_i$  pour représenter la limitation de capacité sur la section de voirie considérée. Le nombre d'emplacements non occupés sur une section du carrefour est représenté par le marquage de la place  $P'_i$  :  $m'_i = c_i - m_i$  (avec  $c_i$  la capacité de la section considérée). L'entrée de chaque section est modélisée par une transition  $T_{j-1}$  (représentée par un rectangle) dont la fréquence de franchissement maximale est représentée par  $q_{max\ j-1} = 1/\theta^{in}$  ( $\theta^{in}$  représente le temps d'arrivée moyen d'un véhicule sur la voie). De même, la sortie d'une section est modélisée par une transition  $T_j$  dont la fréquence maximale de franchissement est l'inverse du temps moyen nécessaire pour qu'un véhicule traverse la section  $q_{max\ j} = 1/\theta^{out}$ . Le nombre moyen de véhicules pouvant entrer ou traverser simultanément le carrefour est représenté par le marquage  $a_j$  de la place  $P_j$ .



**Figure 3.** Section de voirie

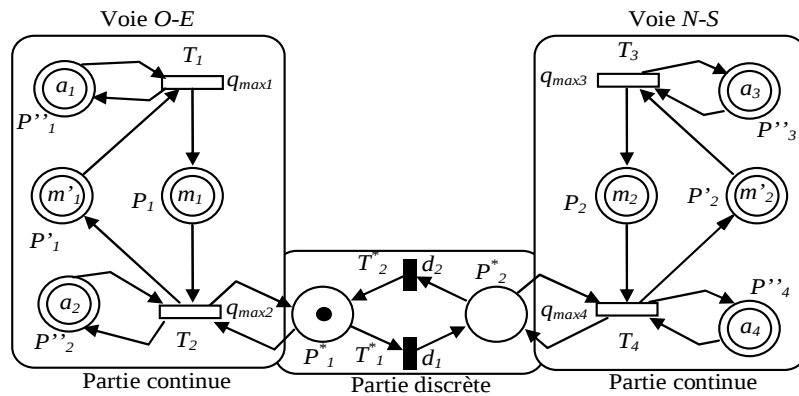


**Figure 4.** Modèle RdPCV d'une section de voirie

Le trafic routier est caractérisé par les variables moyennes de flux de circulation à savoir la densité, le débit et la vitesse, ces variables étant reliées directement aux paramètres du modèle RdPCV (Tolba *et al.*, 2003).

### 3.2. Modèle d'une intersection isolée

Les dynamiques d'un carrefour à feux isolé sont modélisées par un RdPH (figure 5) composé de modèles élémentaires RdPCV similaires à celui de la figure 4 (partie continue, figure 5) et d'un RdPT modélisant les phases de feux (places représentées par des cercles simples et transitions représentées par des rectangles pleins, figure 5). La présence d'un jeton dans la place discrète  $P_1^*$  indique l'état « vert » du feu sur la voie (O-E). La transition continue  $T_2$  est donc franchissable pendant une durée du vert égale à  $d_1$ . En revanche, l'absence de jeton dans la place  $P_2^*$  rend la transition  $T_4$  non franchissable. Lorsque des véhicules arrivent sur la voie (N-S), ils forment une file d'attente pendant une durée égale à  $d_1$ .



**Figure 5.** Modèle RdPH d'un carrefour isolé

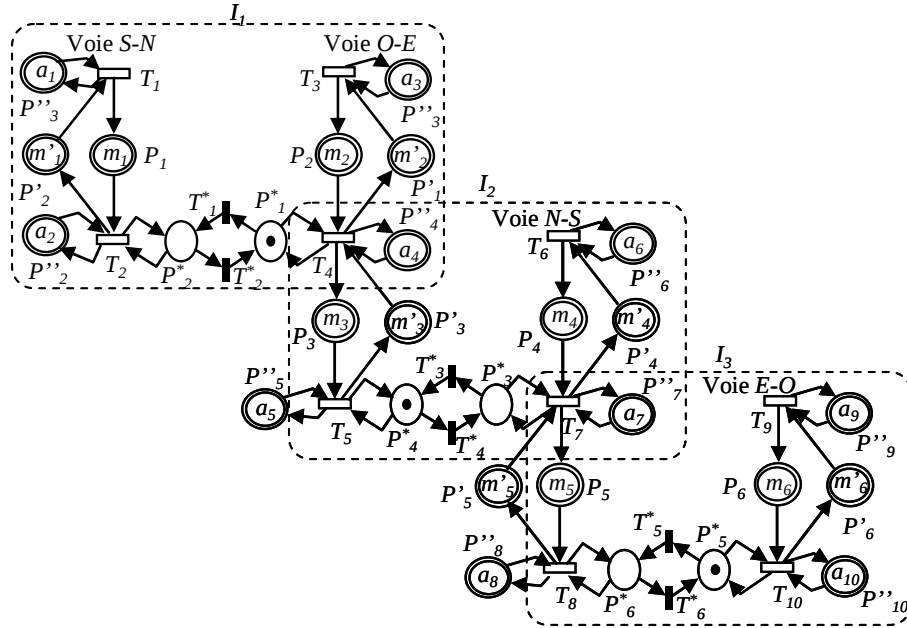
### 3.3. Modèle d'un réseau d'intersections

Dans un réseaux de plusieurs intersections, chaque intersection est modélisée par un RdPH similaire à celui de la figure 5. Par exemple, le modèle par RdPH du réseau de la figure 2, avec trois intersections ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ) et deux directions de circulation, peut être représenté sous la forme de trois RdPH de carrefours isolés interconnectés (figure 6).

### 3.4. Approche multi - modèle

Les modèles RdPH des intersections à feux sont des systèmes hybrides non linéaires avec des commutations. Le comportement du trafic aux abords des carrefours est donc décrit pas plusieurs modèles linéaires activés séquentiellement. Chaque modèle linéaire, appelé « phase linéaire » et noté  $E_j$ , décrit l'évolution de la file d'attente  $m_j$  par une équation différentielle  $j$  linéaire du premier ordre. A

titre d'exemple les phases linéaires observées pour la file d'attente de la voie  $O - E$  (marquage  $m_1$ , figure 5) sont résumées dans le tableau 1 (Tolba *et al.*, 2008).



**Figure 6.** Modèle RdPH d'un réseau de trois intersections

| Domaine de validité  |                      | Phase   | Marquage en fonction du temps                                                                                              |
|----------------------|----------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $m_1 > a_2$          | $m_1 \geq c_1 - a_1$ | $E_1^I$ | $m_1 = (m_1^0 - c_1 + \frac{q_{\max 2}}{q_{\max 1}} a_2) e^{-q_{\max 1}(t-t_0)} + c_1 - \frac{q_{\max 2}}{q_{\max 1}} a_2$ |
|                      | $m_1 < c_1 - a_1$    | $E_2^I$ | $m_1 = (q_{\max 1} \cdot a_1 - q_{\max 2} a_2) \cdot (t - t_0) + m_1^0$                                                    |
| $m_1 \leq a_2$       | $m_1 < c_1 - a_1$    | $E_3^I$ | $m_1 = (m_1^0 - c_1 + \frac{q_{\max 1}}{q_{\max 2}} a_1) e^{-q_{\max 2}(t-t_0)} + \frac{q_{\max 1}}{q_{\max 2}} a_1$       |
| $m_1 \geq c_1 - a_1$ |                      | $E_5^I$ | $m_1 = (m_1^0 - c_1) e^{-q_{\max 1}(t-t_0)} + c_1$                                                                         |
| $m_1 < c_1 - a_1$    |                      | $E_6^I$ | $m_1 = q_{\max 1} \cdot a_1 (t - t_0) + m_1^0$                                                                             |

**Table 1.** Phases linéaires pour  $m_1$ . (des phases similaires existent pour  $m_2$ )

La résolution des équations différentielles correspondant à chaque phase linéaire permet de déterminer analytiquement l'évolution du marquage  $m_i$ . L'agrégation des RdPH de différents carrefours permet de décrire l'évolution globale d'un réseau complexe de voiries. L'approche multi-modèles ainsi obtenue permet de mettre en relief les interactions entre la partie continue représentée par les phases linéaires et la partie discrète représentée à la fois par les changements de phases linéaires et les changements des états du feu. Par conséquent, il devient plus simple de synthétiser des commandes des feux qui reposent sur l'occurrence de ces changements.

#### 4. Stratégies pour la gestion du trafic

L'exploitation du potentiel des réseaux de Petri dans la régulation des feux de trafic a été initiée par Jensen (1992) en modélisant les feux de signalisation par un RdP coloré. Wang *et al.* (1993) ont utilisé les RdP pour la commande et l'évaluation des performances d'une intersection isolée en se basant sur le simulateur « SIMNET ». Di Cesare *et al.* (1994) ont proposé une approche modulaire pour l'évaluation et la commande de six intersections adjacentes. Ces résultats étaient obtenus avec le simulateur « POSES ». Gallego *et al.* (1996) ont développé un contrôleur des feux de signalisation à

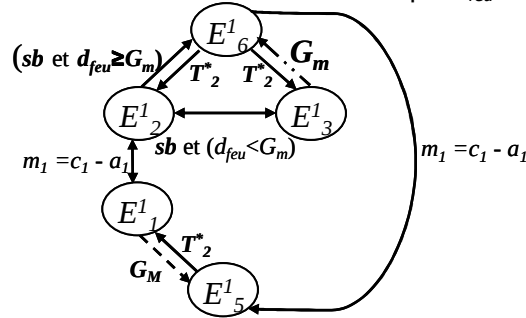
base de réseaux de Petri interprétés. Enfin, récemment, les RdP hybrides ont aussi été appliqués avec succès pour la modélisation et la commande des systèmes de transport (Di Febrarro *et al.*, 2004). Dans cette section nous présentons trois stratégies de commande des feux et quelques résultats de simulation obtenus par le SeT, le CRAN et le GREAH.

#### 4.1. Stratégie de maintien

Cette stratégie consiste à détecter la rupture de seuils bas ( $m_1 = a_2$  ou  $m_2 = a_4$ ) sur la voie dont la phase de feu est « vert », quel que soit l'état de la file d'attente sur la voie dont la phase de feu est « rouge ». Il s'agit de privilégier la résorption de la file d'attente sur la voie dont la phase de feu est « vert ».

Chaque phase de vert a une durée comprise entre une borne inférieure  $G_m$  et une borne supérieure  $G_M$  afin d'éviter qu'une voie soit perpétuellement au vert et l'autre au rouge.

La commande résultante est décrite à l'aide d'automates hybrides (figure 7) pouvant être implémentés dans un automate programmable industriel. A titre d'illustration, si l'on considère que la phase de feu est « vert » sur la voie  $O-E$  (figure 5), et si l'on suppose que l'état initial est  $E^1_2$  (tableau 1), alors cet état va rester actif tant que ( $m_1 > a_2$  et  $m_1 < c_1 - a_1$ ). Lorsque le seuil  $m_1 = a_2$  est franchi et si la durée de « vert »  $d_{feu}$  est au moins égale à  $G_m$ , l'ordre de commutation du feu est délivré. Par conséquent, le marquage  $m_1$  change de phase linéaire (i.e., l'état de l'automate hybride passe de  $E^1_2$  à  $E^1_6$ ). En revanche, si le seuil  $m_1 = a_2$  est franchi après une durée inférieure à  $G_m$ , le marquage  $m_1$  change de phase linéaire et atteint  $E^1_3$ . A partir de cette phase linéaire, l'ordre de commutation des feux sera délivré lorsque  $d_{feu} = G_m$ . Dans le cas où le marquage  $m_1$  atteint la phase linéaire  $E^1_1$  et le seuil  $m_1 > a_2$  n'est pas atteint, l'ordre de commutation des feux doit être donné lorsque  $d_{feu} = G_M$ .



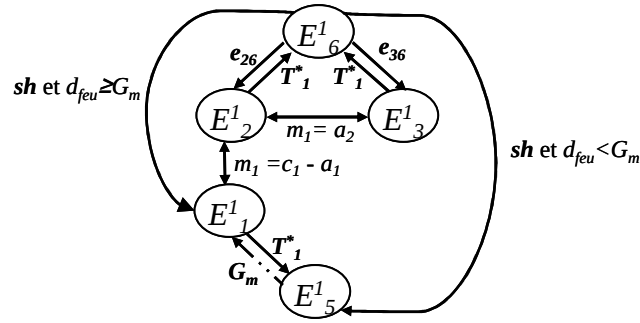
Événement seuil bas :  $sb = \langle m_1$ ,

$E^1_1$  et le seuil  $m_1 > a_2$  n'est pas atteint, l'ordre de commutation des feux doit être donné lorsque  $d_{feu} = G_M$ .

**Figure 7.** Automate hybride représentant l'évolution de  $m_1$  dans le cas de la stratégie de maintien (un automate similaire existe pour  $m_2$ )

#### 4.2. Stratégie de commutation

Contrairement à la stratégie précédente, il s'agit cette fois de détecter la rupture de seuils hauts ( $m_1 = c_1 - a_1$  ou  $m_2 = c_2 - a_3$ ) sur la voie dont l'état du feu est « rouge », quel que soit l'état de la file d'attente sur la voie dont la phase de feu est « vert ». Il s'agit d'empêcher la formation de la file d'attente sur la voie dont la phase de feu est « rouge ». Lorsque le marquage de la file d'attente au feu rouge atteint le seuil haut et  $d_{feu} \geq G_m$ , le feu change de phase et par conséquent le marquage correspondant à cette file d'attente change de phase linéaire (figure 8).

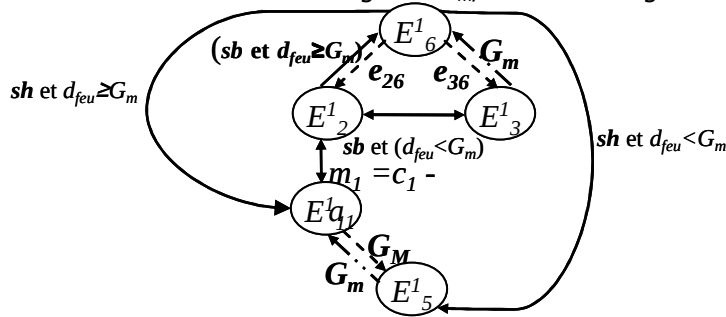


$$sh = \ll m_1 = c_1 - a_1 \gg, e_{36} = (d_{feu} \geq G_M) \text{ et } (m_1 < a_2), e_{26} = (d_{feu} \geq G_M)$$

**Figure 8.** Automate hybride représentant l'évolution de  $m_1$  dans le cas de la stratégie de commutation (un automate similaire existe pour  $m_2$ )

#### 4.3. Stratégie mixte

Cette stratégie repose sur la détection des seuils bas et hauts sur les deux voies de l'intersection. Il s'agit à la fois d'empêcher la formation de la file d'attente sur la voie dont la phase de feu est « rouge » et de résorber la file d'attente sur la voie dont la phase de feu est « vert ». Les feux peuvent changer de phase soit lors du franchissement des seuils bas ( $m_1=a_2$  ou  $m_2=a_4$ ), soit lors du franchissement des seuils hauts ( $m_1=c_1-a_1$  ou  $m_2=c_2-a_3$ ). Lorsque l'un des seuils est détecté, après une durée de vert au moins égale à  $G_m$ , les feux changent d'états (figure 9).

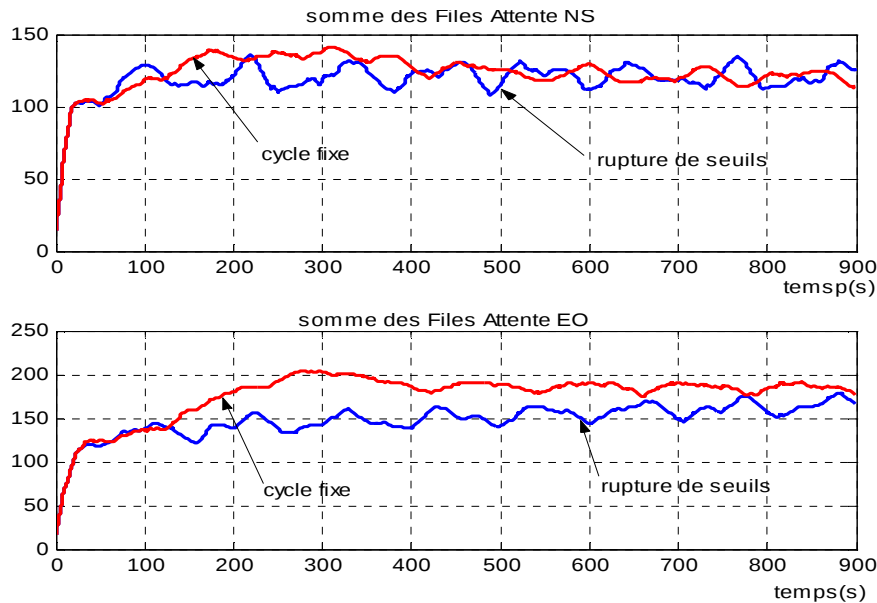


**Figure 9.** Automate hybride représentant l'évolution de  $m_1$  dans le cas de la stratégie mixte (un automate similaire existe pour  $m_2$ )

#### 4.4. Quelques résultats de simulation

Les stratégies proposées ont été programmées et testées dans le cas des carrefours isolés et dans celui des réseaux de plusieurs carrefours interconnectés. Elles ont été comparées avec des commandes usuelles (cycle fixe et intervalle-véhicule). Les résultats obtenus montrent l'intérêt des commandes par rupture de seuils dans la grande majorité des situations simulées (trafic fluide, congestion,...). Les résultats de cette étude seront publiés et discutés dans le Journal Européen des Systèmes Automatisés en 2008 (Tolba *et al.* 2008). Dans ce qui suit nous donnons un exemple de résultat dans le cas d'un réseau de 3 intersections interconnectées (figure 2). La stratégie mixte est mise en œuvre sans synchronisation des feux des carrefours. La commande des feux est locale, c'est-à-dire la commutation des feux est liée uniquement aux fluctuations du nombre de véhicules présents dans chaque carrefour. Dans cette série de simulations, nous comparons les performances de la commande par rupture de seuils mixtes par rapport à la commande à cycle fixe. Les longueurs du cycle de feu de  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$  sont respectivement 60, 120 et 75s partagée uniquement entre le « vert » et le « rouge ».

Les durées du « vert minimum » et du « vert maximum » de  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$  sont respectivement égales à 25, 50, 30s et 30, 60, 35s. A l'état initial  $t_0$  le nombre de véhicules présents dans chaque carrefour est :  $m_1^0=6$  véh.,  $m_2^0=5$  véh.,  $m_3^0=4$  véh.,  $m_4^0=8$  véh.,  $m_5^0=0$  véh.,  $m_6^0=7$  véh. Le feu est supposé « vert » sur la voie (O-E) du carrefour  $I_1$  et  $I_3$ , et « rouge » sur celle du carrefour  $I_2$ .



**Figure 10.** Sommes des files d'attente obtenues par simulation pour un réseau de trois intersections en fonction du temps sur une période de 15 minutes

L'examen des résultats montre que la formation des files d'attente se fait au niveau des voies d'entrée du réseau à savoir les voies *O-E* des carrefours  $I_1$  et  $I_3$  et les voies *N-S* des carrefours  $I_1$  et  $I_2$ . En revanche, les files d'attente au niveau des jonctions intermédiaires (voies *O-E* de  $I_1$  et *N-S* de  $I_3$ ) sont variables (accumulation et dégagement de véhicules). La commande par rupture de seuils mixtes permet d'obtenir de bonnes performances en diminuant le plus souvent la longueur des files d'attente.

## 5. Conclusions

La prise en compte de mesures caractérisant le trafic urbain et l'utilisation des réseaux de Petri hybrides, adaptés pour combiner les dynamiques continues et discrètes, permettent de développer des stratégies innovantes pour la gestion du trafic urbain et améliorer ainsi la circulation des personnes et des biens.

Les avantages principaux de l'approche proposée sont : (1) la décomposition modulaire et le parallélisme du modèle qui permettent d'étendre les résultats à des réseaux de grande dimension à l'échelle d'agglomérations, (2) l'utilisation directe des paramètres du modèle dans la stratégie de commande qui permet une mise en œuvre aisée sans recourir à une étude statistique de la fréquentation du réseau, (3) l'implémentation facilitée par l'utilisation d'outils de modélisation adaptés à la programmation avec des automates industriels.

Malgré ces avantages, les simulations réalisées ont montré les limites de la commande décentralisée. Il sera nécessaire d'adjoindre une supervision pour assurer un niveau minimal de coordination entre les différents carrefours d'un même réseau.

## Bibliographie

- Antsaklis P.J, Koutsoukos X. D, « Hybrid Systems Control », *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, 3rd edition, Academic Press, vol. 7, 2002, p. 445-458.
- Boillot F., Midenet S., Pierrelée J.C., « Real-life CRONOS evaluation », *Proc. Of the 10th IEE International Conference on Road Traffic Information and Control*, n°472, 2000, p. 182-186.
- David R., Alla H., *Du grafset aux réseaux de Petri*, Paris, Editions Hermès, 1992.
- Di Cesare F., Kulp P.T., Gile M., List G., « The application of Petri nets to the Modelling, Analysis and Control of Intelligent Urban Traffic Networks », *Proc. of the APN'94*, Robert Valette, Zaragoza, Spain, 1994, p. 2-15.

- Di Febrarro A., Giglio D., Sacco N., « Urban traffic control structure based on hybrid Petri nets », *IEEE Transactions on Intelligent Transportation systems*, vol. 5, n° 4, 2004, p. 224-237.
- Gallego J.L., *Nouvelles approches pour la commande des carrefours*, thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure de l'aéronautique et de l'espace, 1996.
- Gartner N.H., Tarnoff P.J., Andrews C.M., « Evaluation of the Optimized Policies for Adaptive Control (OPAC) Strategy », *Transportation Research Record*, n° 1324, 1991, p.105-114.
- Hansen B.G., Martin P.T., Perrin H.J., « SCOOT real-time adaptive control in a CORSIM simulation environment », *Transportation Research Record*, n° 1727, 2000, p.27-31.
- Henry J.J., « The PRODYN Real Time Traffic Algorithm », *4<sup>th</sup> IFAC/IFIP/IFORS International Conference on Control in Transportation Systems*, 1983, p. 307-311.
- Hunt P.B., Robertson D.I., Bretherton R.D., Winton R.I., « SCOOT: A Traffic Responsive Method of Coordinating Signals », *Transport and Road Research, Laboratory Report n° LR1014*, TRRL, Crowthorne, UK, 1981.
- Jensen K., *Coloured Petri Nets. Basic concepts, analysis method and practical use*, vol. 1, 1992, EATC monographs on Theoretical Computer Science, Springer Verlag.
- Khoudour L., Lesort J.B., Farges J.L., « PRODYN - Three Years of Trials in the ZELT Experimental Zone », *Recherche-Transports-Sécurité, English Issue, Special Traffic Management*, 1991, p.89-98.
- Le Bail J., Alla H., David R., « Hybrid Petri nets », *Proc. of the European Control Conference*, 1991, Grenoble, France, p. 1472-1477.
- Lei J., Ozguner U., « Decentralized hybrid intersection control », *Proc. Of the 40th IEEE CDC*, 2001, p.1237-1242.
- Papageorgiou M., Diakaki C., Dinopoulou V., Kotsialos A., Wang Y., « Review of road traffic control strategies », *Proc. of the IEEE*, vol. 91, n° 12, 2003, p. 2043-2067.
- Sims A.G., Finaly A.B., «SCATS: Splits and Offsets Simplified SAS », *Aust. Road Research Board. Proc.* vol. 4, n°12, 1984, p. 17-33.
- Taylor W.C., Abdel-Rahim A.S., *Incident Management Under SCAT Adaptive Control System FAST-TRAC Phase III Deliverable #11*, Final Report On Incident Management Under SCATS adaptive Control System EECS-ITS LAB-FT98-084, 1998, p.01-20.
- Tolba C., Lefebvre D., Thomas P., ElMoudni A., «Continuous Petri nets models for the analysis of traffic urban networks», *Proc. of the IEEE Systems, Man, and Cybernetics Conference*, Tucson, Arizona, USA, 2001, p.1323-1328.
- Tolba C., Lefebvre D., Thomas P., ElMoudni A., « Continuous Petri nets for the microscopic modeling of traffic flow», *Proc. of Summer Computer Simulation Conference (SCSC'02)*, San Diego, California, USA, 2002, CD-Rom.
- Tolba C., Lefebvre D., Thomas P., ElMoudni A., «Performance evaluation of the traffic control in a single crossroad by Petri nets», *Proc. of the 9<sup>th</sup> IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'03)*, vol. 2, Lisbon, Portugal, 2003, p. 157-160.
- Tolba C., Lefebvre D., Thomas P., ElMoudni A., « Approche multi-modèles pour la commande des feux de traffic », *Conférence Internationale Francophone d'Automatique (CIFA)*, Douz, Tunisie, 2004, CD-Rom.
- Tolba C., Contribution à l'utilisation des réseaux de Petri pour la modélisation et la régulation du trafic urbain et interurbain, thèse de doctorat, Université de Technologie de Belfort Montbéliard, 2004.
- Tolba C., Lefebvre D., Thomas P., ElMoudni A., « Commande des feux de signalisation par réseaux de Petri hybrides », *Journal Européen des systèmes automatisés (JESA)*, 2008, sous presse.
- Wang H., List G.F., Di Cesare F., « Modelling and Evaluation of Traffic Signal Control Using Timed Petri Nets », *CESA*, vol. 2, Le Touquet, France ,1993, p. 180-185.