

Modélisation dynamique du système de transport multimodal basée sur les activités

Tai-Yu MA

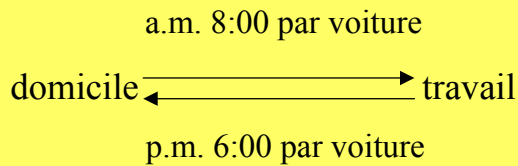
INRETS/GRETIA

Plan

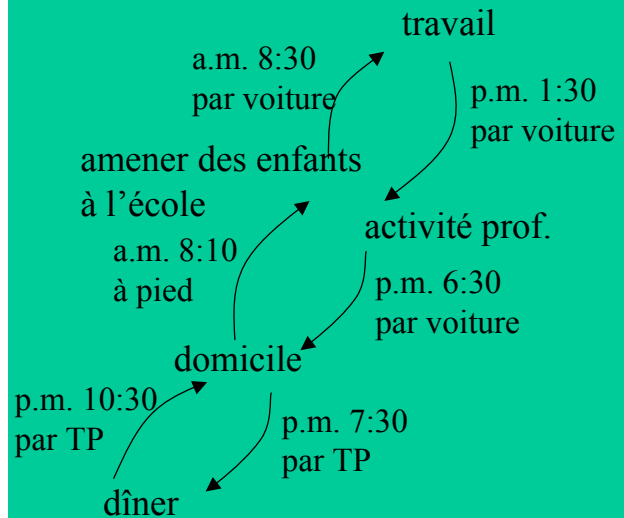
- Introduction
- Etat actuel de la recherche
- Modèles développés basés sur les activités
- Méthode d'Entropie Relative pour les problèmes d'affectation du trafic
- Modèle dynamique de transport multimodal basé sur les activités
- Conclusions et perspectives
- Références

Pourquoi l'approche basée sur les activités

Modèles basés sur les trajets



Modèles basés sur les activités



(Bowman et Ben-Akiva, 1996)

Etat de l'art

- Méthodes simultanées
 - Théorie de la maximisation d'utilité (Ben-Akiva et Lerman, 1985)
 - Programmation mathématique (Recker, 1995)
- Méthodes séquentielles
 - Modèle de processus de calcul (Golledge et al., 1994)
- Méthodes de simulation du système Multi-Agents
 - Simulation du comportement individuel (agent) basée sur des règles de décision (Raney et al, 2003; Arentze et Timmermans, 2004)

Modèles étudiés (1)

- Modèle d'accessibilité aux activités vacantes (AVA, Leurent, 1999)
 - Demande d'activités: les consommateurs potentiels situés dans les zones d'origine
 - Offre d'activités: de nombreuses zones offrent des activités économiques
 - Marché économique d'activités: chaque consommateur consomme une activité unique et tente d'avoir la valeur économique maximale

Modèles étudiés (2)

- Modèle d'opportunité (Stouffer, 1940)
 - Probabilité de choix d'une destination est proportionnelle au nombre d'opportunités satisfaisant le motif considéré à la destination
- Zhang et Levinson (2004)
 - Approche Multi-Agent
 - Traitement du choix d'itinéraires et de destinations

Modèles développés basés sur les activités

- Modèle statique: choix de destination, d'itinéraire, monomodal
- Modèles dynamiques:
 - Choix de destination, de temps de départ, d'itinéraire, monomodal
 - Choix de destination, de chaîne de modes, de temps de départ, d'itinéraire, multimodal

LET, 14/01/2008 p7

Modèle statique d'activité (monomodal): Equilibre du marché

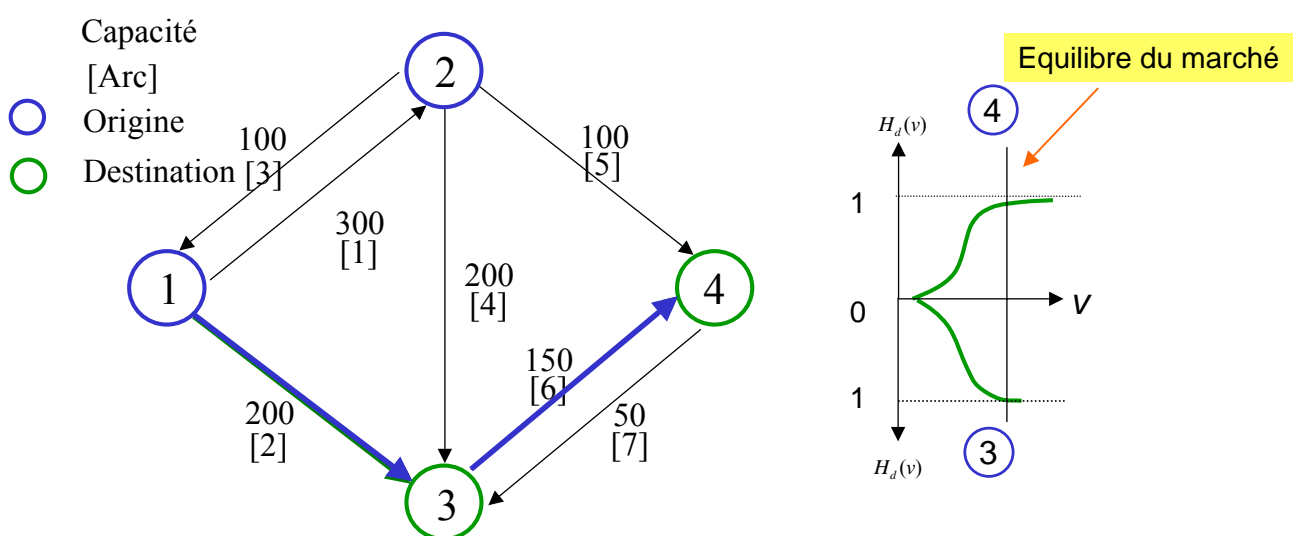


Fig. 1 La représentation du réseau avec les noeuds et les arcs artificiels

LET, 14/01/2008 p8

Modèle dynamique d'activité (monomodal): valeur nette d'activité et le coût généralisé

- Répartition de la valeur brute d'activités

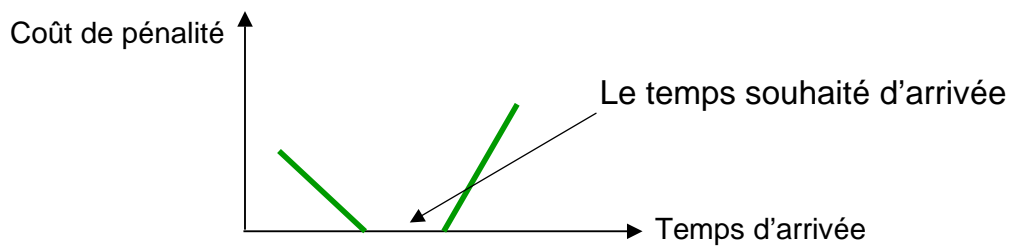
$$P_d(v) = \lambda_d \exp(-\lambda_d(v - m_d))$$

- Valeur nette d'activité = valeur brute d'activité moins le coût généralisé de déplacement

$$\tilde{v}_r(t, \mathbf{f}) = v_{d(r)}(t + \pi_r(t)) - C_r(t, \mathbf{f})$$

$$\text{avec } \mathbf{f} = \{f_r(t), \forall r \in R_{k|o(k)=o}, \forall o \in O, \forall t \in [0, T]\}$$

- Coût généralisé de déplacement



Modèle dynamique d'activité (monomodal) : condition d'équilibre usagers

L'équilibre usagers de Wardrop préconise que pour chaque origine, les choix de destinations, d'itinéraires et de temps de départ sont ceux qui rendent la valeur nette d'activités plus élevée que ceux qui n'ont pas été choisis.

$$\tilde{v}_r(t, \mathbf{f}^*) \begin{cases} = \tilde{v}_o^{\max}(\mathbf{f}^*) & \text{si } f_r(t) > 0 \\ < \tilde{v}_o^{\max}(\mathbf{f}^*) & \text{sinon} \end{cases}, \quad \forall r \in R_{k|o(k)=o}, \quad \forall o \in O, \quad \forall t \in [0, T]$$

$$\text{s.c.} \quad \sum_{k|o(k)=o} \sum_{r \in R_k} f_r(t) = d_o(t), \quad \forall o \in O, \quad \forall t \in [0, T]$$

$$f_r(t) \geq 0, \quad \forall r, \quad \forall t \in [0, T]$$

Méthode d'Entropie Relative (Rubinstein, 1999)

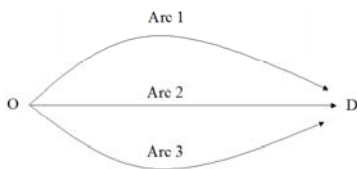
- Définition de la mesure de performance $S(\mathbf{x})$ sur l'échantillon sur l'ensemble des variables de décision \mathbf{x}
- Définition d'une famille de distributions de probabilité (PDF), $F(\mathbf{x};\nu)$, avec un paramètre associé
- Itérer les deux étapes suivantes:
 - Génération d'un ensemble d'échantillons basés sur $f(\mathbf{x};u) \in F(\mathbf{x};\nu)$
 - Modification du paramètre dans $f(\mathbf{x};u)$ en se basant sur la résolution du problème d'optimisation qui minimise l'entropie relative permettant de générer les meilleurs échantillons à la prochaine itération.

LET, 14/01/2008 p11

Méthode d'Entropie Relative pour les problèmes d'affectation du trafic (1)

- la fonction de performance sur l'itinéraire i définie par la distribution de Boltzmann (Helvik et Wittner, 2001) :

$$H_i(\gamma) = e^{\frac{-C_i(d_i)}{\gamma}} \quad (\text{CE.1})$$



où γ le paramètre de contrôle

- L'espérance de l'ensemble de performance basée sur cette distribution de probabilité \mathbf{p} est donnée par:

$$h(\mathbf{p}, \gamma) = \sum_{i \in I} p_i H_i(\gamma) \quad (\text{CE.2})$$

s.c :

$$\sum_{i \in I} p_i = 1, \quad \forall p_i \geq 0 \quad (\text{CE.3})$$

LET, 14/01/2008 p12

Méthode d'Entropie Relative pour les problèmes d'affectation du trafic (2)

- La distribution de probabilité optimale \mathbf{p}^{w+1} vers les itinéraires moins coûteux à chaque itération est la solution du problème d'optimisation qui minimise l'entropie relative de Kullback-Liebler entre la distribution de probabilité \mathbf{p}^w et \mathbf{p}^{w+1} :

$$\mathbf{p}^{w+1} = \max_{\mathbf{p}} E_{\mathbf{p}^w} [H(\gamma) \ln \mathbf{p}] \quad (\text{CE.4})$$

Sous contrainte de l'équation (CE.3)

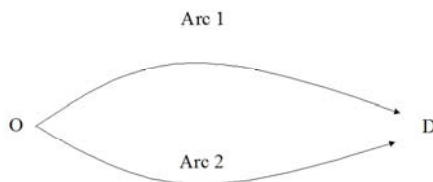
où w désigne une itération

- La solution du problème d'optimisation ci-dessus s'écrit par :

$$p_i^{w+1} = p_i^w \frac{e^{-C_i^w / \gamma^w}}{\sum_{j \in I} p_j^w e^{-C_j^w / \gamma^w}}, \quad \forall i \in I \quad (\text{CE.5})$$

LET, 14/01/2008 p13

Etudes numériques: Affectation statique bimodale avec une seule paire OD (Wynter, 2001)



$$\begin{aligned} t_{ai} &= 1.5x_{ai} + 5x_{bi} + 30 \quad \forall i \in \{1,2\} \\ t_{bi} &= 1.3x_{ai} + 2.6x_{bi} + 28 \quad \forall i \in \{1,2\} \\ d_a &= 16 \quad d_b = 4 \end{aligned}$$

où

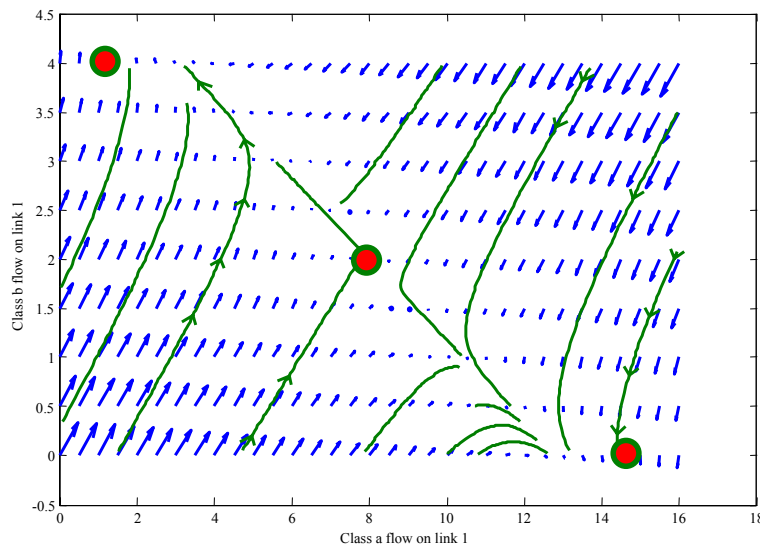
t_{gi} : le temps de parcours de la classe g sur l'arc i

x_{gi} : le flux de la classe g sur l'arc i .

d_g : la demande de la classe g .

LET, 14/01/2008 p14

Etudes numériques: Affectation statique bimodale avec une seule paire OD (Wynter, 2001)



$$\nabla = - \begin{pmatrix} t_{a1} - t_{a2} \\ t_{b1} - t_{b2} \end{pmatrix}$$

Ce champ (de Nagurney) exprime les tendances du choix des usagers. Si $t_{a1} - t_{a2} > 0$, les usagers ont tendance à se reporter vers l'itinéraire 2.

Fig. 2 Le champ du vecteur de la vitesse du mouvement du flux

Etudes numériques: affectation dynamique unimodale avec de multiple paires OD

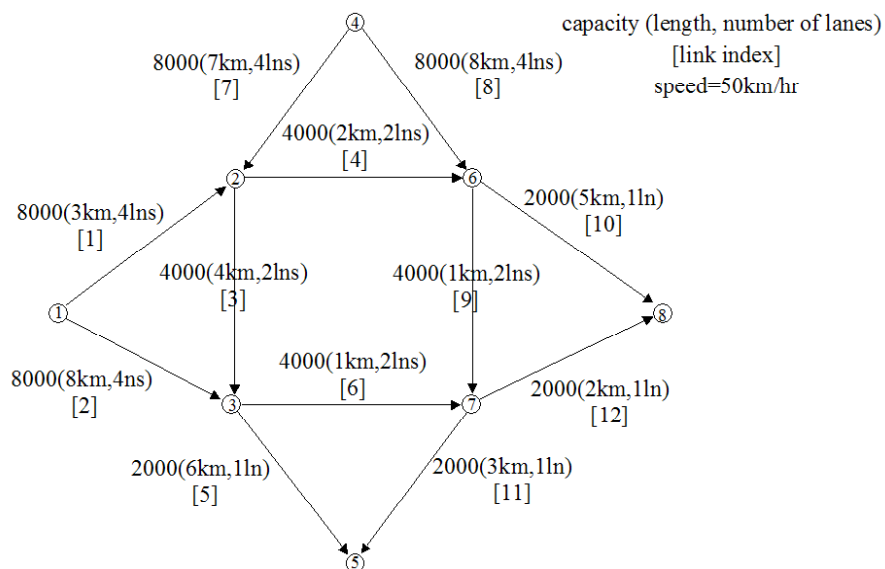


Fig. 3 La représentation du réseau avec 8 noeuds et 12 arcs

Etudes numériques: affectation dynamique uni-modale avec multiple paires OD

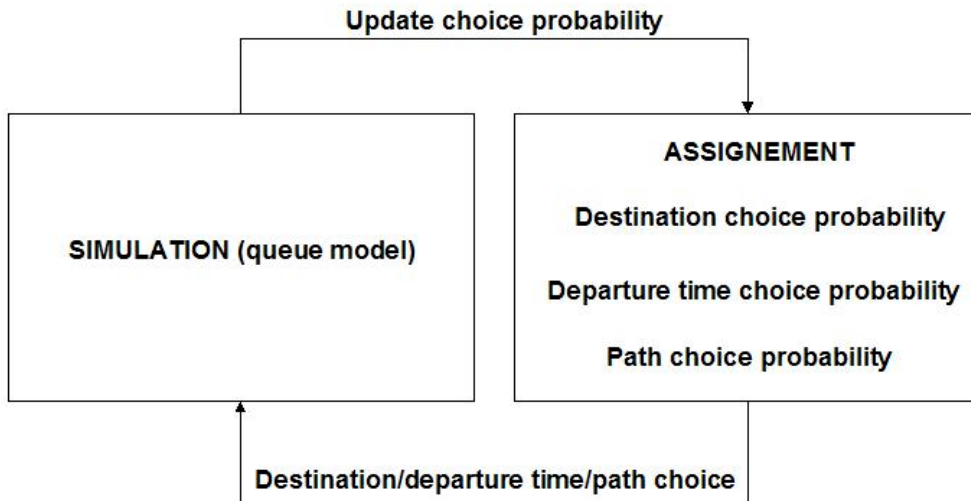


Fig. 4 Processus de calcul

Etudes numériques: affectation dynamique uni-modale avec multiple paires OD

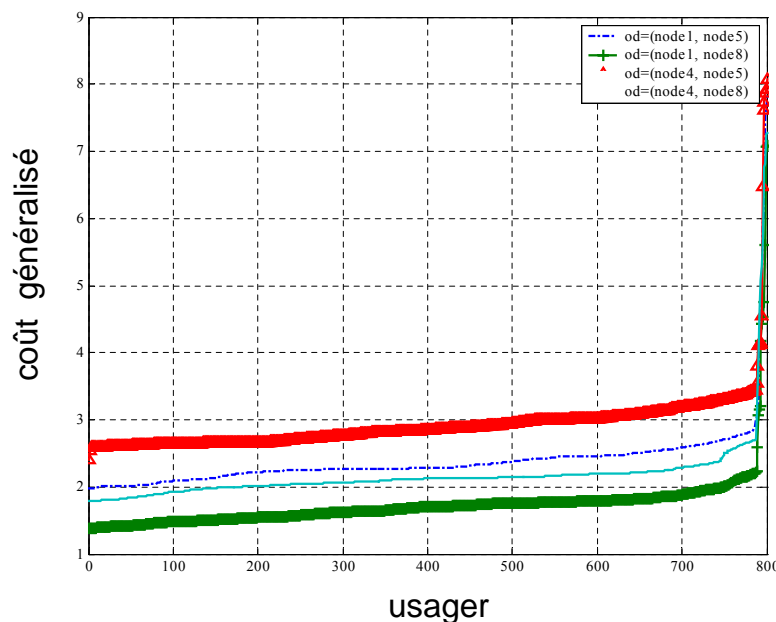


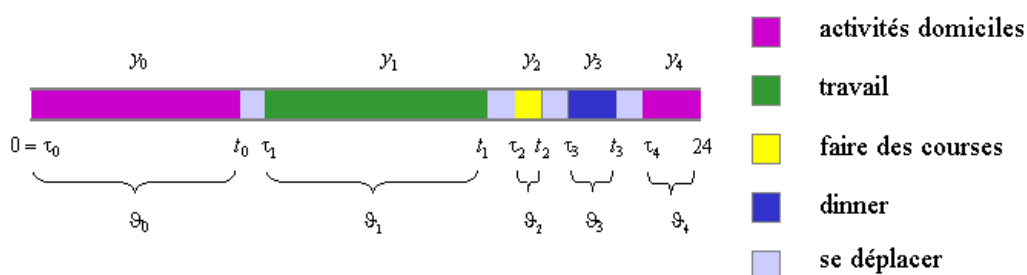
Fig. 5 Le coût généralisé des usagers ordonné par ordre croissant

Modèle dynamique d'activité (chaînes d'activité + multimodal)

- La chaîne d'activités
- Le modèle de la demande
- La modélisation dynamique des systèmes de transport multimodaux
- L'équilibre des usagers basé sur les activités
- La méthode de résolution : méthode d'Entropie Relative
- L'implémentation dans un grand réseau multimodal

LET, 14/01/2008 p19

Définition d'une chaîne d'activités



Une chaîne d'activités pendant 24 heures :

$$g = \{y_0, y_1, \dots, y_n\}$$

où

y_i : i ème activité à réaliser qui est localisée dans une destination différente de la précédente.

$$y \stackrel{\text{def}}{=} y(\phi(y), \tau(y), \vartheta(y))$$

($\phi(y)$ le type d'activités, $\tau(y)$ le temps souhaité d'arrivée à destination, $\vartheta(y)$ la durée d'activité)

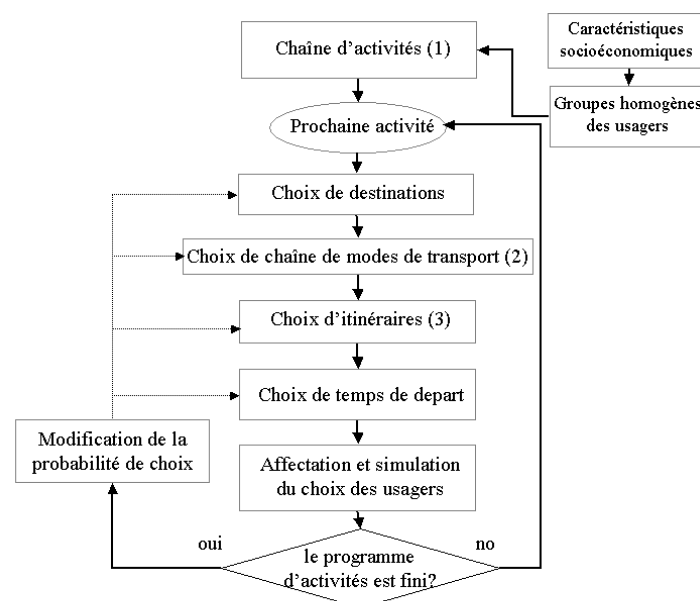
LET, 14/01/2008 p20

Le modèle de la demande

- Maximisation de la valeur nette totale d'activités obtenue par la réalisation d'un programme d'activités donné
- La réalisation d'un programme d'activités est séquentielle
- Le choix de décision d'un individu est hiérarchique :
 - Choix : destinations => chaîne de modes de transport => itinéraires => temps de départ
- La répartition de la valeur brute d'activités est définie par la loi exponentielle

LET, 14/01/2008 p21

Le processus de calcul



(1): Données
(2): Ensemble des chaînes de modes est pré-déterminé
(3): Choix sur l'ensemble des itinéraires attractifs

Fig. 6 Structure du processus de calcul

LET, 14/01/2008 p22

L'ensemble des chaînes de modes de transport

Type de chaîne	L'ordre d'entrée dans le réseau monomodal
1	W
2	W-C-W
3	W-C-TC-W
4	W-TC-C-W
5	W-TC-W

Où

W : le réseau de marche,

C : le réseau routier,

TC : le réseau transport en commun

Modélisation dynamique des systèmes de transport multimodaux (1)

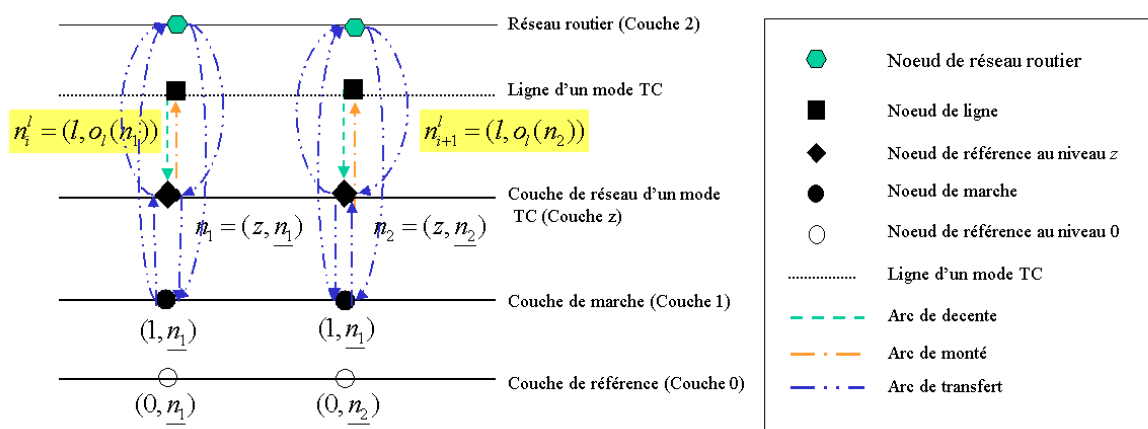


Fig. 7 Représentation du réseau multimodal

Modélisation dynamique des systèmes de transport multimodaux (2)

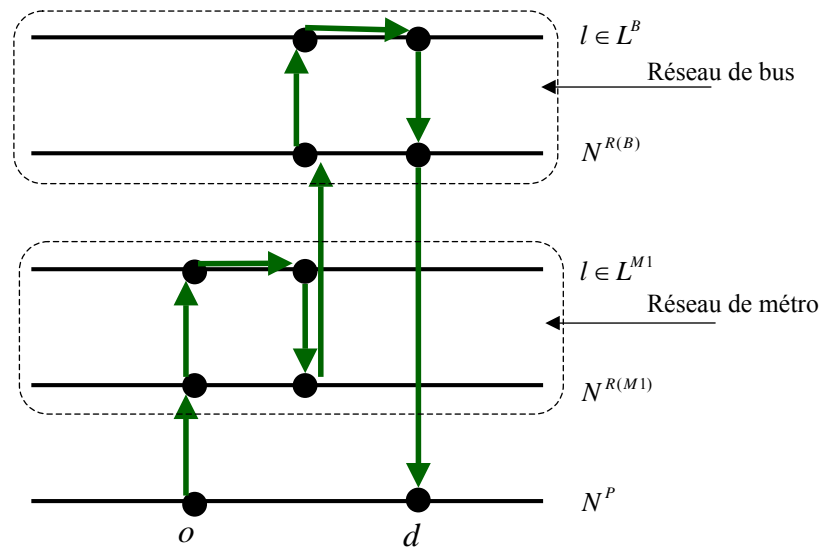


Fig. 8 Représentation d'un itinéraire multimodal

LET, 14/01/2008 p25

Modélisation dynamique des systèmes de transport multimodaux (3)

Système multi-agent pour la simulation des systèmes de transports multimodaux

Agent Usager (A_U) : il est défini comme un individu qui se déplace dans un réseau multimodal pour réaliser son programme d'activités

Agent Véhicule (A_V) : il représente les véhicules individuels. Il est classé en quatre types : voiture particulière, bus, métro et train.

Agent réseau (A_R) : il représente le réseau multimodal dans lequel différents types d'arcs sont conçus.

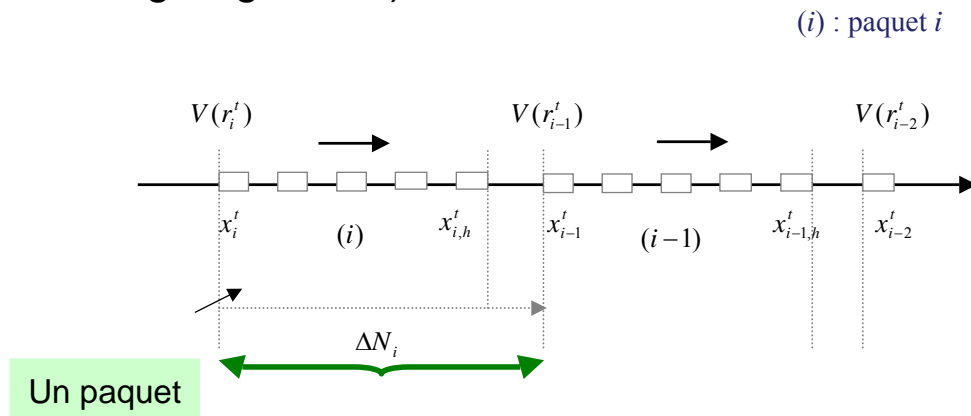
Agent opérateur (A_O) : il stocke le programme d'horaires de départ pour les véhicules dans la station initiale pour le système de TC.

Agent système (A_S) : il communique toutes les informations issues des différents types d'agents.

LET, 14/01/2008 p26

Modélisation dynamique des systèmes de transport multimodaux (4)

- Ecoulement du trafic dans le réseau routier
 - Modèle de paquet de véhicules (modèle macroscopique du premier ordre en coordonnées Lagrangiennes)



LET, 14/01/2008 p27

Modélisation dynamique de systèmes de transport multimodaux (5)

- L'écoulement du trafic dans le réseau de TC
 - Approche multi-agent
 - Estimation de manière explicite de l'effet de congestion :
 - Capacité de véhicule (Bus/Métro/Train)
 - Influence intermodale (Car/Bus)
 - Temps d'attente en stations (Modèle de file ponctuelle, Kuwahara et Akamatsu, 1997)

LET, 14/01/2008 p28

Le coût d'un itinéraire multimodal

$$C_r^z(t_r) = \sum_{z(i) \in z} C_{r^{z(i)}}(t_{r^{z(i)}}) + \beta_0 \sum_{a \in A^T} \pi_a^U + \Gamma_r(t_{TN(r)}^{\text{arr}}), \quad \forall z$$

où

t_r : l'instant d'entrée dans l'itinéraire r

$z(i)$: i ième mode de la chaîne de modes z

$t_{r^{z(i)}}$: l'instant d'entrée dans le sous-itinéraire monomodal $r^{z(i)}$

$\Gamma_r(t_{TN(r)}^{\text{arr}})$: la pénalité associée à l'arrivée en avance ou en retard à la destination $d = TN(r)$

L'équilibre des usagers basé sur les activités

- La conservation du flux des usagers en origines :

$$D_g^o = \int_0^T d_g^o(t) dt, \quad \forall o \in O, \quad \forall g \in G$$

Où $d_g^o(t)$: la demande du programme d'activités g à l'instant de départ t au point d'origine o .

- La disponibilité des activités aux destinations :

$$\sum_{r \in R_{k|d(k)=d}} \int_0^T f_r^\phi(t) dt \leq N_d^\phi, \quad \forall d \in \Xi_\phi, \quad \forall \phi$$

N_d^ϕ : le nombre d'activités vacantes de type ϕ à la destination d

$f_r^\phi(t)$: le flux des usagers pour réaliser l'activité de type ϕ sur l'itinéraire r à l'instant t .

La valeur nette totale d'activités d'un programme d'activités

$$\tilde{v}_g^o(u_g^o) = \sum_{\forall y_i \in g} v(\phi(y_i), d(y_i), t_{d(y_i)}) - \sum_{\forall r \in u_g^o} C_r^z(t_r), \quad \forall u_g^o \in U_g^o, \quad \forall g, \quad \forall o$$

où

$\phi(y_i)$: le type d'activité y_i

$d(y_i)$: la destination choisie pour l'activité y_i

$t_{d(y_i)}$: l'instant d'arrivée à la destination $d(y_i)$

$v(\cdot)$: la valeur brute des activités obtenue

$C_r^z(t_r)$: le coût des déplacements sur le chemin multimodal r par la chaîne de modes z à l'instant d'entrée t_r

LET, 14/01/2008 p31

Méthode de résolution pour le problème d'affectation dynamique multimodale: méthode d'Entropie Relative

Etape 1 : Initialisation

- (1) Construction des itinéraires attractifs
- (2) Initialiser la distribution de probabilité uniforme sur l'ensemble des choix

Etape 2 : Simulation des choix des usagers dans les systèmes de transport multimodaux

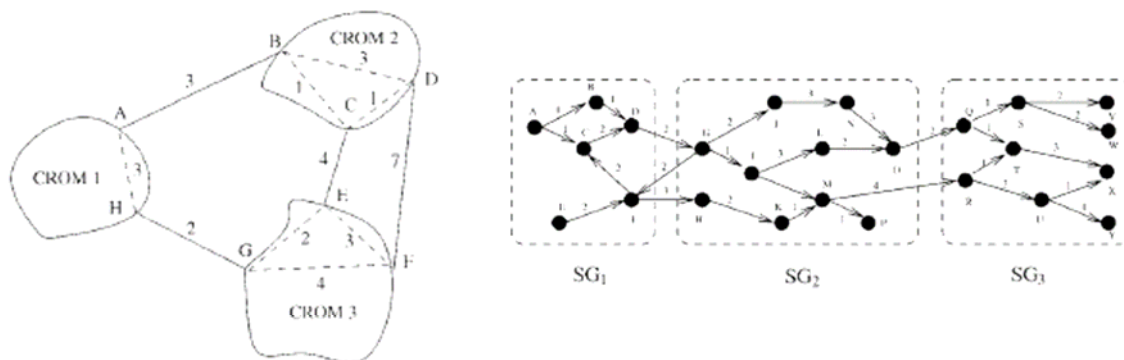
Etape 3 : Modification de la probabilité de choix

Etape 4 : Condition d'arrêt

LET, 14/01/2008 p32

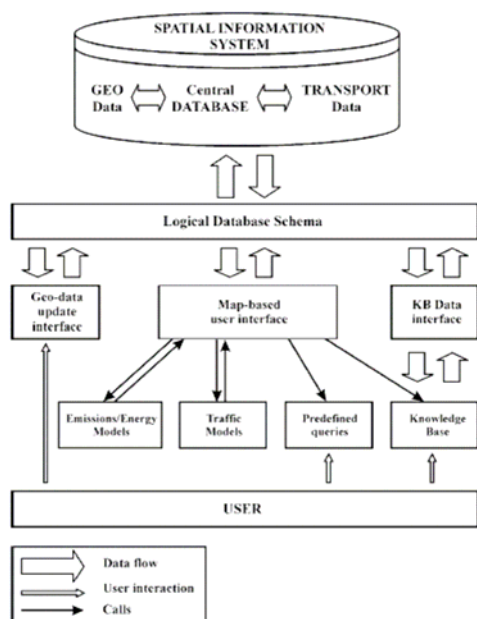
Implémentation dans un grand réseau multimodal (1) : La génération de l'ensemble de choix d'itinéraires multimodaux

- Modèle graphique hiérarchique (Jung et Pramanik, 2002)

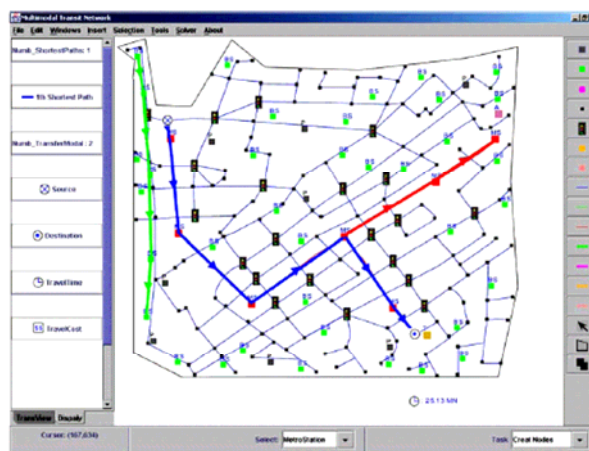


(Jung et Pramanik, 2002)

Implémentation dans un grand réseau multimodal (2) : SIG + modèle de trafic



Architecture de système d'aide à la décision (Arampatzis et al 2004)



Le plus court chemin multimodal (Bielli et al. 2006)

Conclusions

Les résultats marquants :

- Développement d'un modèle dynamique multimodal basé sur les activités permettant de simuler l'enchaînement des activités et des déplacements des voyageurs
- Développement d'une méthode de résolution pour les problèmes d'affectation dynamique prédictive basée sur les modèles de simulation.
- Développement du modèle macroscopique du premier ordre en discrétisation Lagrangienne pour simuler les paquets de véhicules dans un réseau multimodal

Perspectives

- Aspects de recherche:
 - Développement de méthodes pour réduire le nombre de choix d'itinéraires multmodals: modèle graphique hiérarchique
 - L'extension du modèle d'activités à la modélisation dynamique de la programmation des activités
 - L'étude algorithmique pour la résolution du problème d'affectation dynamique multimodale basée sur les modèles de simulation
 - Modélisation de l'impact du système d'information des usagers
 - Analyse de l'intersection entre le système de transport et l'utilisation du sol
 - Développement du système d'aide à la décision : système d'information géographique + modèle de trafic