

Les modèles du trafic routier: de la théorie à la gestion des infrastructures



J.P. Lebacque (INRETS-GREZIA)

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

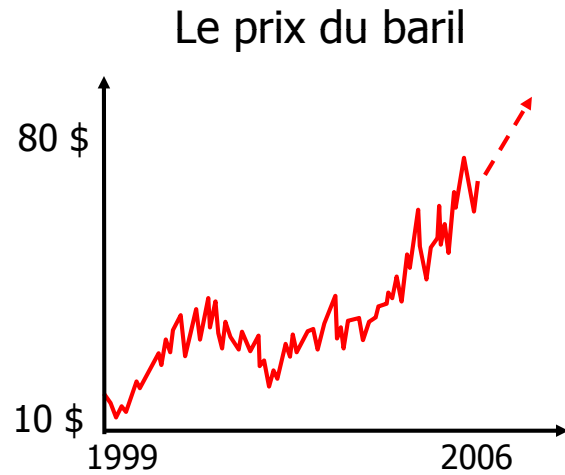
Contexte général

- Congestion: 1 million h x km (+50 % en 12 ans, IdF + 60 %)
- Coût: 0,15 % PIB (*Prud'homme*)
- Ile-de-France: 85 % de la congestion en France (*Rail-Transports 2004*)

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Nécessité de gérer au mieux

- Le pétrole à 200 \$ le baril (ou plus?)?
- Système de transports durable (CE)
- Réduire: consommation, émission polluants
- Rationaliser le système de transports et l'usage de la voiture



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

La congestion



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

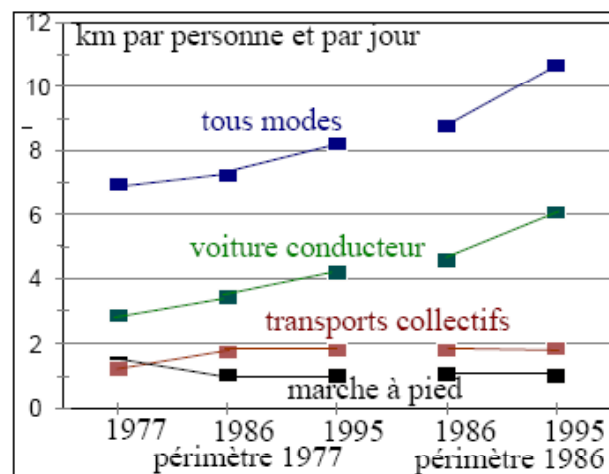
Les déterminants de l'évolution

- Révolution informatique
 - Outils et techniques (automatisation et décentralisation des tâches)
 - Modèles et connaissances
 - Information (recueil, circulation, intégration)
 - Puissance et décentralisation des moyens de calcul
- Crise économique, problèmes de développement et d'environnement à long terme:
 - Peu de nouvelles infrastructures, optimiser l'existant
- Intolérance au risque, demandes sécuritaires

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Evolution de la demande

- Accroissement de la demande (Bonnel)
- Egalement changement de nature (domicile-travail a régressé)



Graphique 3.6 : Distance quotidienne par personne selon le mode
 (Sources : d'après enquêtes ménages déplacements de Lyon 1977, 1986, 1995, périmètre enquête 1977 (Bonnel, 2000a))

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Gestion de la complexité

- Systèmes multimodaux (développement du *transport durable*)
- Gestion de systèmes nominaux + les petites perturbations
- Gestion des situations exceptionnelles
- Besoins logistiques

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Nouvelles ressources

- Informatiques
 - Matériel (processeur, mémoire, réseaux)
 - Logiciel (objet)
 - Graphique (animation, visualisation)
- Scientifiques
 - Mathématique (systèmes dynamiques, non linéarité)
 - Recherche Opérationnelle (heuristiques, IA)
 - Physique (systèmes complexes et auto-organisés, éconophysics, statistique des réseaux et des systèmes sociaux)
- Techniques
 - Puissance (calcul, mémoire, communication, visualisation)
 - Informatique embarquée et décentralisée
 - Communication (RFID, portables, internet)

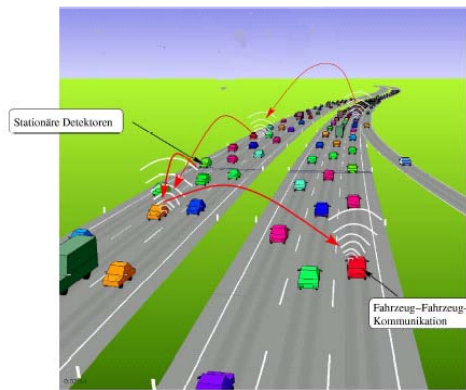
ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Objectifs et contexte

- Comprendre



La Recherche n°398



Helbing

- Pour agir



Régulation

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Comment modéliser le trafic:

- L'approche hydrodynamique de la modélisation du trafic
- L'approche microscopique
- Les autres approches (automates cellulaires, multi-agents)

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

La vision macroscopique du trafic: l'analogie hydrodynamique

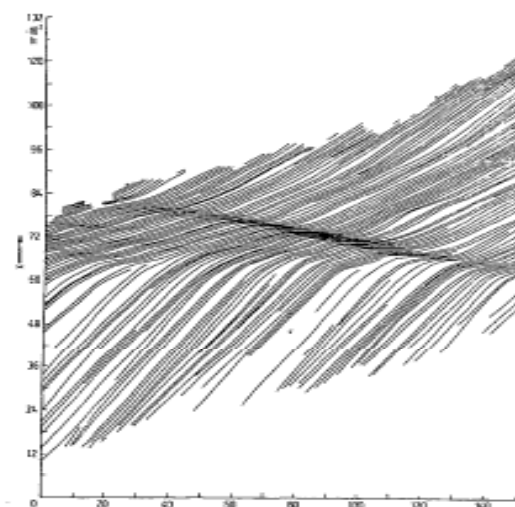
- Le comportement du trafic est, à **grande échelle**, proche de celui d'un **fluide** (Lighthill, Whitham)
- Les **données du trafic** (Exploitants)
 - Boucles électromagnétiques
 - Caméras vidéos



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Propriétés macroscopiques du trafic

- **Ondes cinématiques**
 - Chocs (décélération)
 - Détente (accélération)
- **Etats de trafic**
 - Congestionné
 - Fluide
 - Synchronisé (?) (Kerner)
- **Dynamique de pelotons**
 - Formation
 - Dispersion
- **Diagramme fondamental:**
 - Vitesse diminue si la concentration augmente



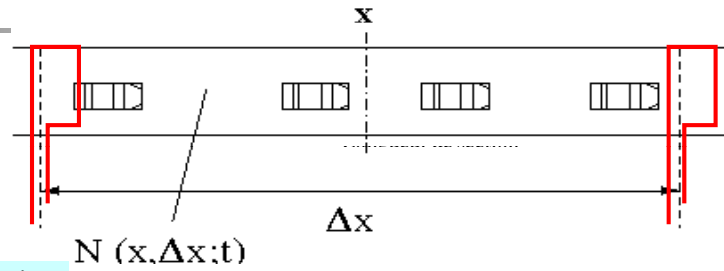
Treiterer et Myers

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Définitions

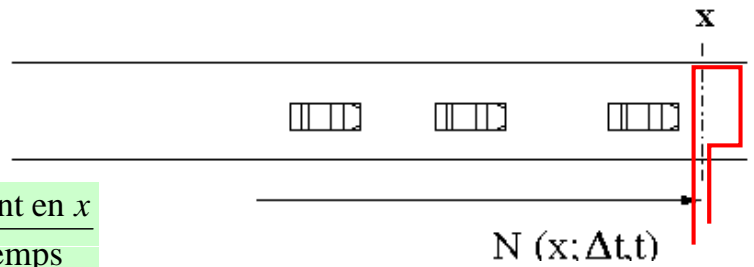
■ Concentration

- $\frac{\text{Nombre de véhicules dans la section}}{\text{Longueur de section}}$



■ Débit

- $\frac{\text{Nombre de véhicules passant en } x}{\text{Durée de l'intervalle de temps}}$



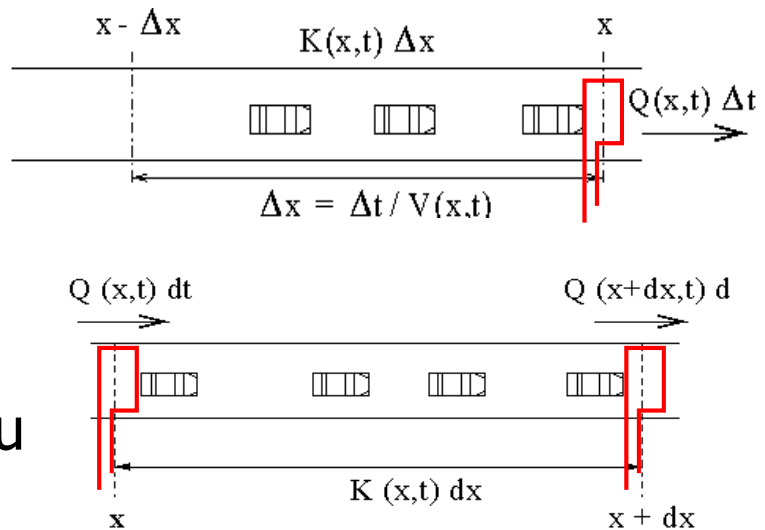
ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Définitions (2)

■ Vitesse

Débit = concentration
x Vitesse

■ Conservation du trafic



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

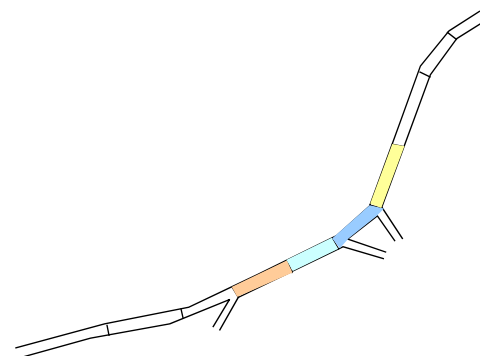
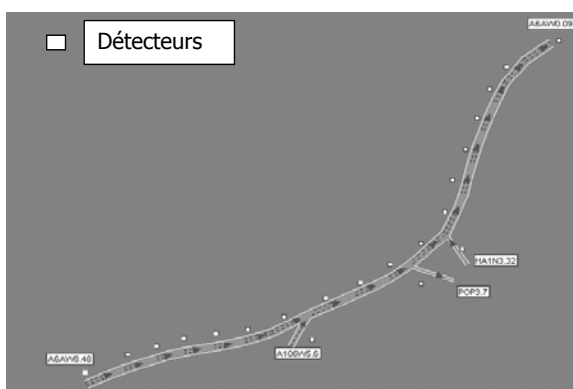
Limites de la description macroscopique du trafic

- Facteur limitatif de l'hypothèse du continu:
 - Nombre d'Avogadro $N = 6.025 \cdot 10^{23}$
(nombre de molécules pour 22.4 litres de gaz sous conditions normales)
 - Concentration maximum sur autoroute, telle que communiquée par les exploitants: **180** vh / km x voie (~ 1 vh / 5 mètres)

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Limites de la description macroscopique du trafic (2)

- Seulement pour des échelles espace x temps > 100 mètres x 5 secondes
- Nécessité d'une résolution limitée du modèle (discrétisation)



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Spécification d'un modèle macroscopique

- **Trois inconnues** qui décrivent la dynamique du trafic
 - Débit, concentration, vitesse
- **Deux relations** sont toujours vérifiées:
 - Conservation du trafic
 - Débit = vitesse x concentration
- **Troisième relation?**

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

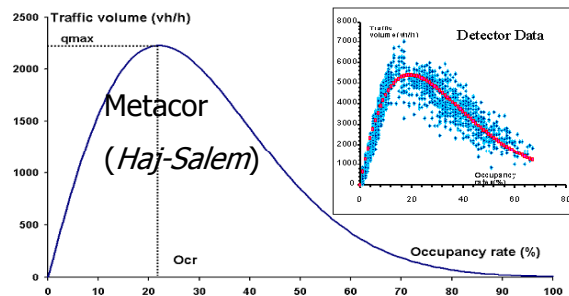
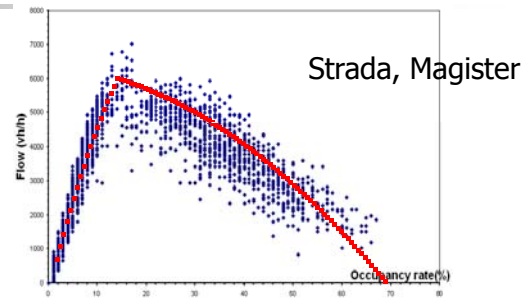
Diagramme fondamental

- **Deux processus en compétition**
 - **Besoin de sécurité**: distance de sécurité qui augmente avec la vitesse
 - **Désir d'aller vite**, dont la réalisation est limitée par le besoin de sécurité
- **Résultat**:
 - **Régime fluide**: concentration faible, vitesse élevée, débit croît avec la concentration
 - **Régime congestionné**: concentration élevée, vitesse faible, débit décroît avec la concentration

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Diagramme fondamental (2)

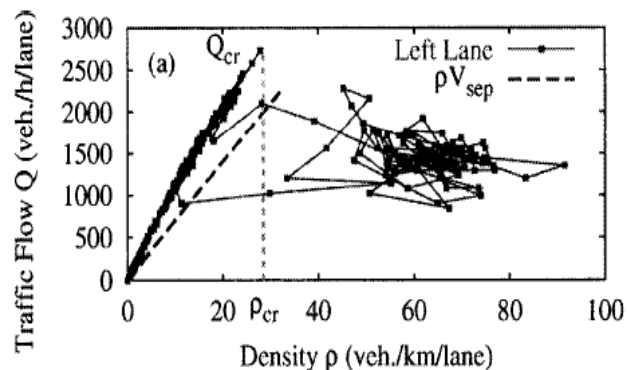
- Suggère l'existence d'une **relation entre débit et concentration**
 - (équation d'état)
 - Difficile à identifier (~25 formes différentes)



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Diagramme fondamental (3)

- Trafic très irrégulier dans le domaine congestionné

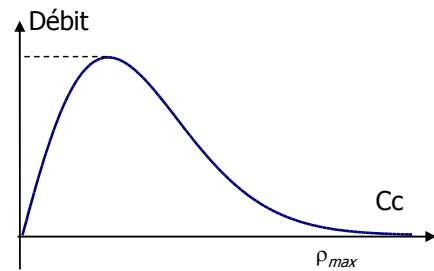


- **Gaz:**
 - Équation d'état = équilibre statistique de l'agitation thermique
- **Trafic:**
 - Équation d'état = équilibre des processus en compétition (vitesse # sécurité)

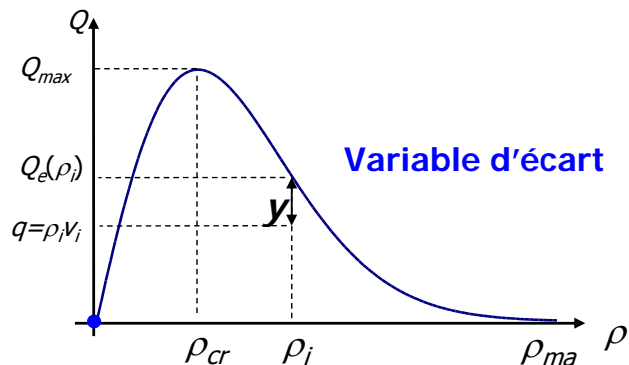
ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Familles de modèles macroscopiques de trafic

- **1^{er} ordre LWR: débit fonction de la concentration** (Lighthill-Whitham-Richards)



- **2^{ème} ordre GSOM (generic second order model): variable d'écart avec le diagramme fondamental** (Lebacque-Mammar-Haj-Salem-Khoshyaran)



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Offre/Demande locales de trafic (Lebacque)

- **Offre locale** = débit maximum entrant en un point (lié au processus sécurité)



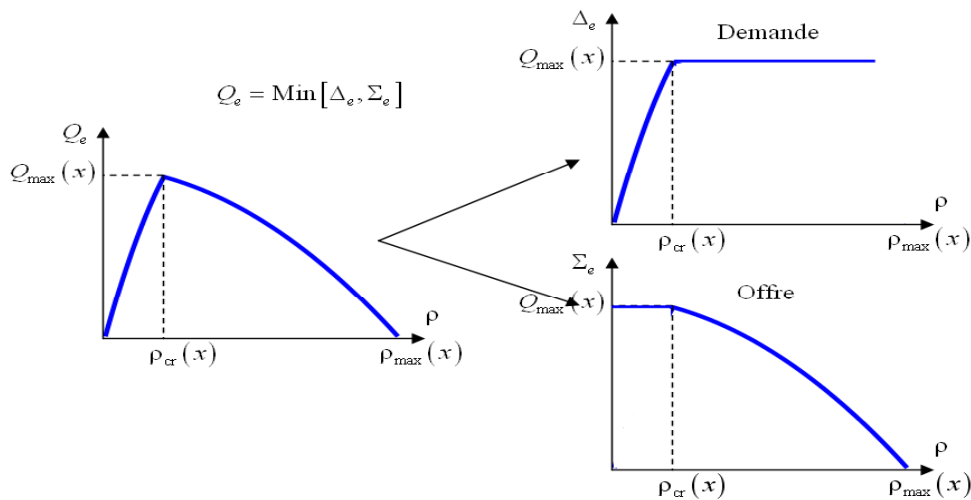
- **Demande locale** = débit maximum sortant (lié au processus vitesse maximale)



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Offre/Demande locales de trafic (2)

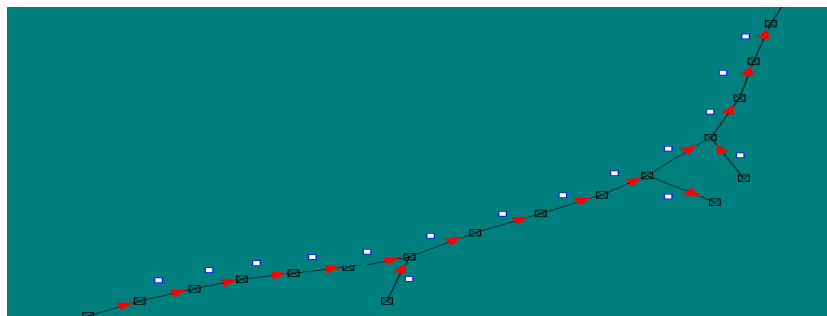
- Débit = Minimum (Offre aval, Demande amont)



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Conception d'un modèle macroscopique (LWR)

- Discrétisation:
 - Cellule (*Ex: 300 m*)
 - Pas de temps (*Ex: 12 sec*)
 - Longueur de cellule = pas de temps x vitesse maximale (CFL) (*Ex: $V_{\text{max}} = 25 \text{ m/sec} = 90 \text{ km/h}$*)



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Conception d'un modèle macroscopique (2)



- **Equations** (Godunov: Lebacque, Daganzo)
 - Offre, demande des cellules
 - Débit entre cellules: **Min (Offre cellule aval, demande cellule amont)**
 - Concentration de chaque cellule: faire le **bilan** débit entrant – débit sortant (Conservation)
 - **Simplicité** (SSMT 1984 = ~ 400 lignes fortran!)

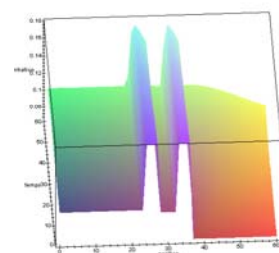
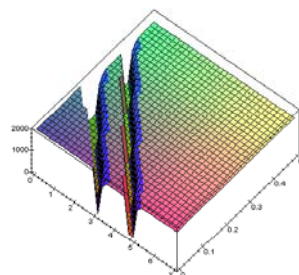
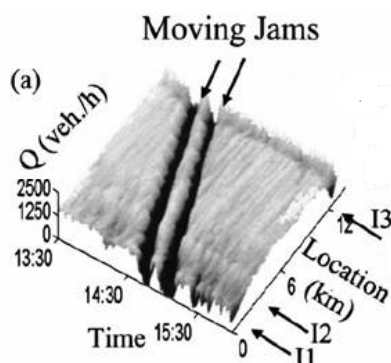
$$\rho_i^{t+1} = \frac{\Delta t}{\Delta x_i} (q_{i-1}^t - q_i^t)$$

$$q_i^t = \text{Min} [\Delta_i^r(\rho_i^t), \Sigma_{i+1}(\rho_{i+1}^t)]$$

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

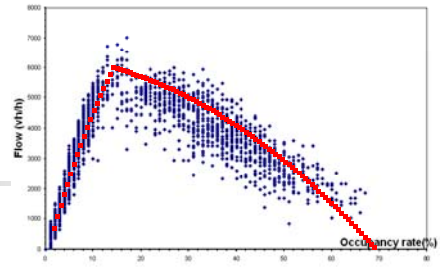
Extension: LWR-BA (accélération bornée)

- **Phénomène de Kerner**: congestions persistantes
- **Les processus**:
 - *Décélération*: onde de choc
 - *Accélération*: temps de réaction constant, accélération constante

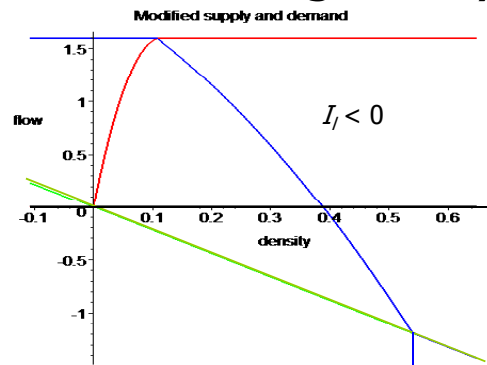
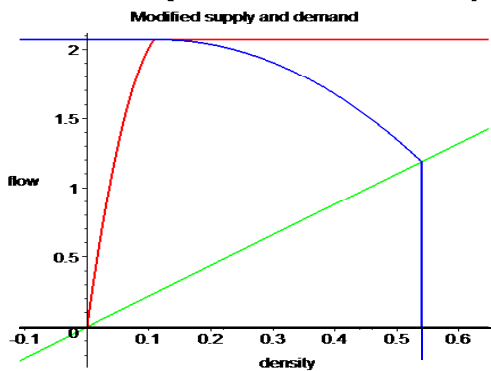


ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Extension: modèle GSOM

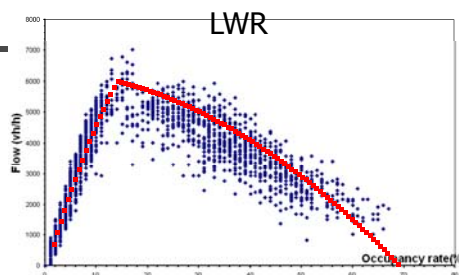


- Diagramme fondamental, Offre et Demande
fonction d'attributs individuels: l'écart par rapport à la norme (conducteurs plus ou moins agressifs)

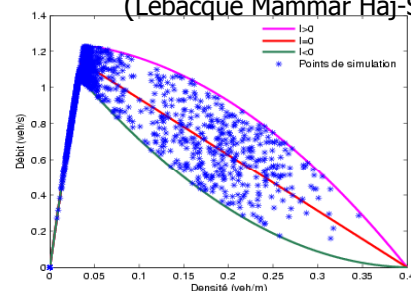


ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

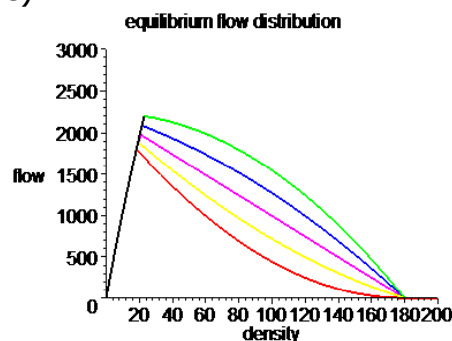
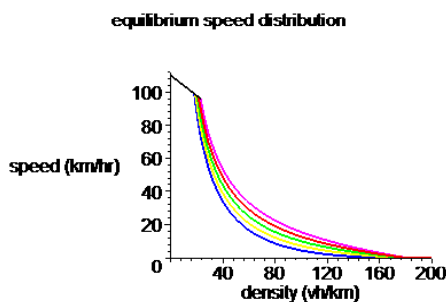
Gains: illustration



GSOM version Colombo 1 Φ
(Lebacque Mammour Haj-Salem)

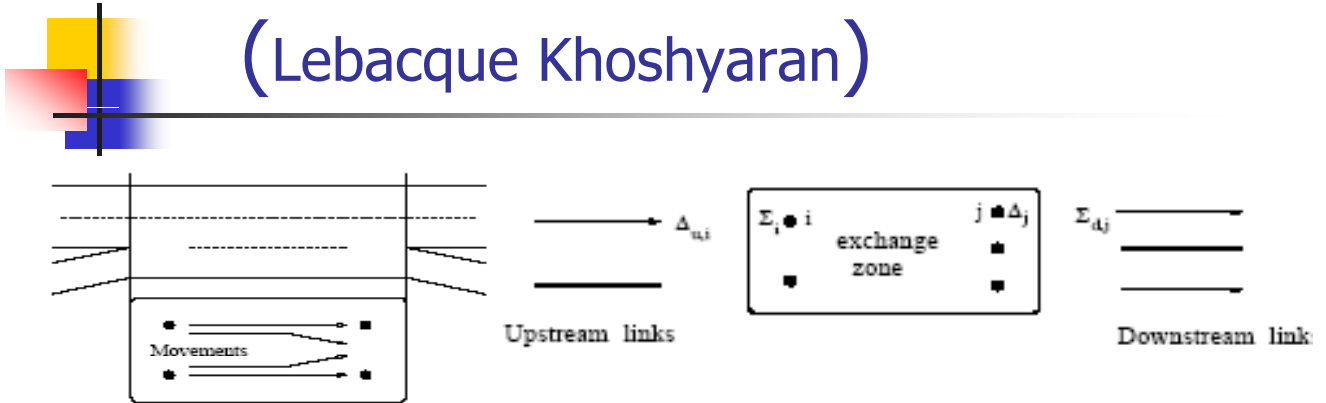


- Il est plus facile d'identifier un modèle générique qu'un modèle d'équilibre type LWR (degré de liberté supplémentaire)



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Extension: intersections (Lebacque Khoshyaran)

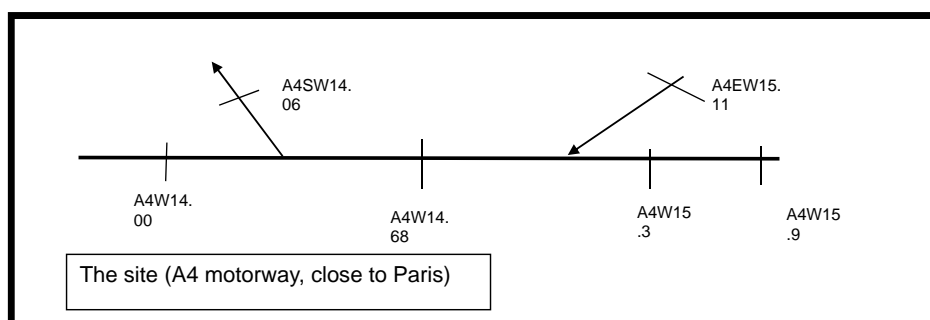


- Offres/Demandes de l'intersection et des tronçons adjacents
- Dynamique interne (conflits, mouvements)
- Théorie des modèles possibles (principe d'invariance)

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

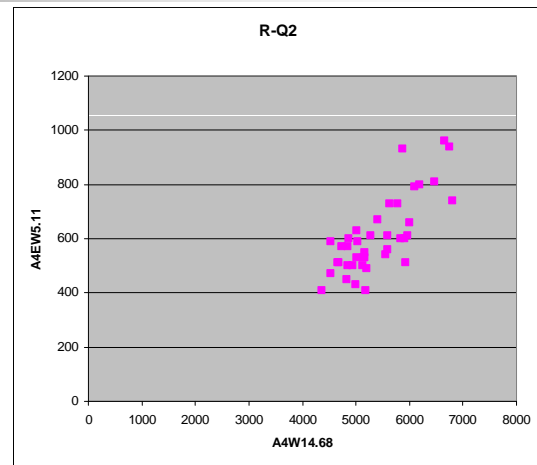
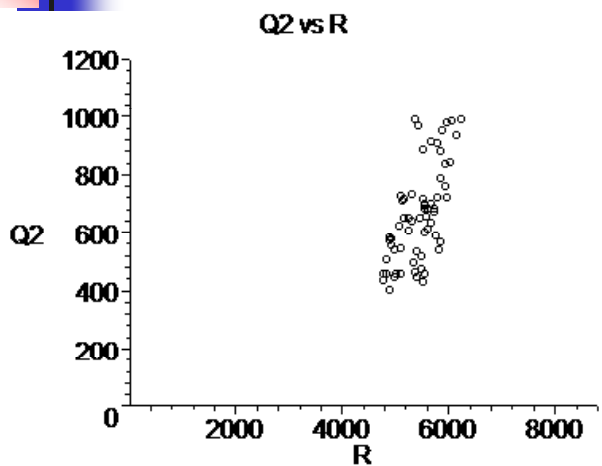
Quelques résultats numériques (1)

- Le site: A4
- Résultats pour le convergent
- Modèle du convergent: répartition d'offre



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

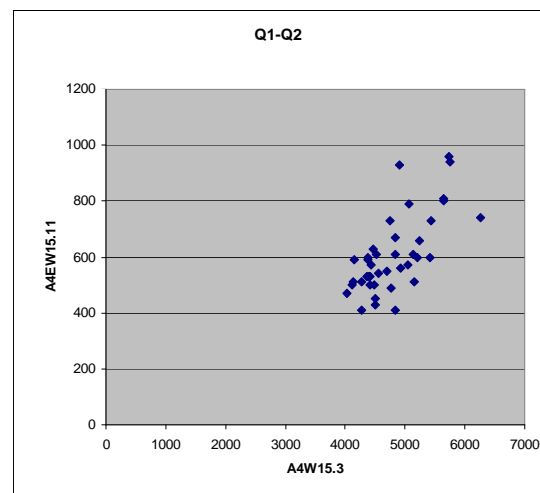
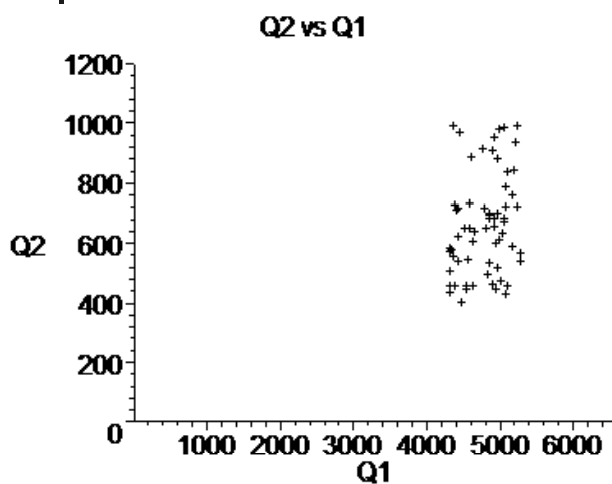
Dispersion *déterministe* des observations de débits



- Débit de rampe vs. débit aval

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Quelques résultats numériques (2)

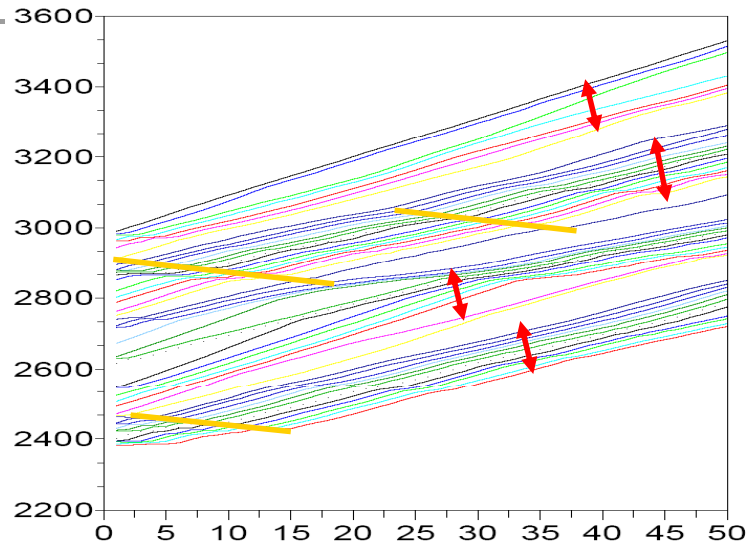
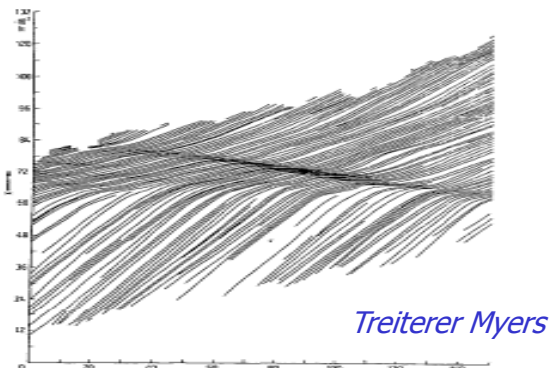


- Débit de rampe vs. débit amont

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Extension: modèle microscopique compatible

- **Discretisation lagrangienne** (en suivant les véhicules)
- **Modèles hybrides** (Mammar)
- **GSOM** (avec écart vis à vis du diagramme fondamental stochastique)

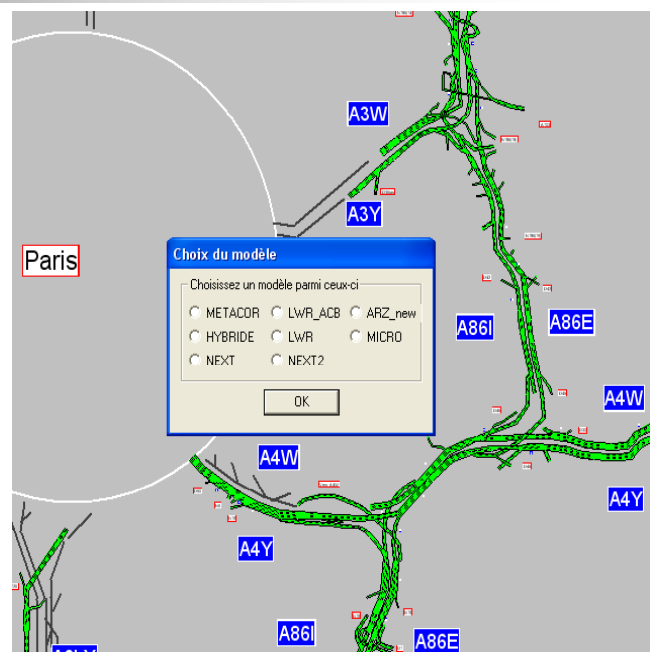


Version microscopique stochastique (TGF'07, Khoshyaran Lebacque)

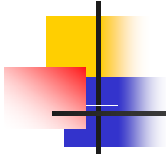
ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Le projet MAGISTER

- Plate-forme **multi-modèles** (Haj-Salem Lebacque Mammar)
- **Éléments principaux** (actuels)
 - LWR
 - Metacor
 - Hybride
 - EARZ
 - GSOM
 - LWR-BA
 - Microscopique
- **Environnement commun**, choix du modèle le mieux adapté

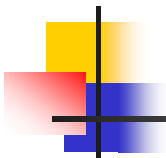


ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010



Cas du réseau autoroutier de l'Ile de France (Haj-Salem)

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010



Objectifs de l'étude

- Évaluer en simulation l'impact du contrôle d'accès généralisé sur une partie de la région Ile de France
 - Isolé
 - Coordonnée

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

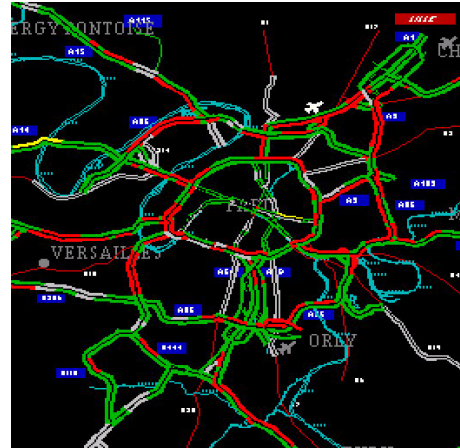
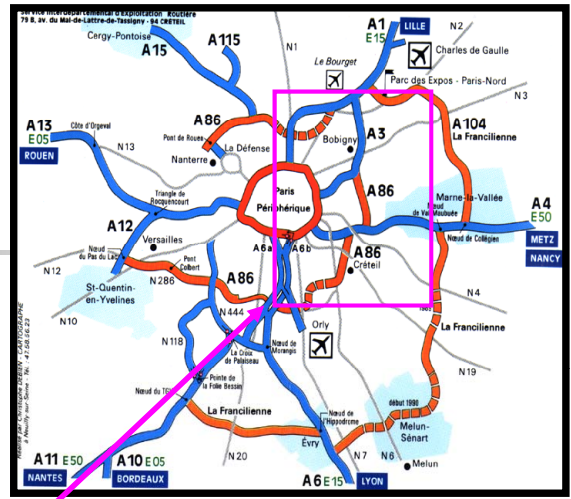
Contexte, Site

Dans le cadre du PDU en Ile de France:

2007: installation du contrôle d'accès généralisé

- 300 accès classiques
- 50 convergents autoroutiers

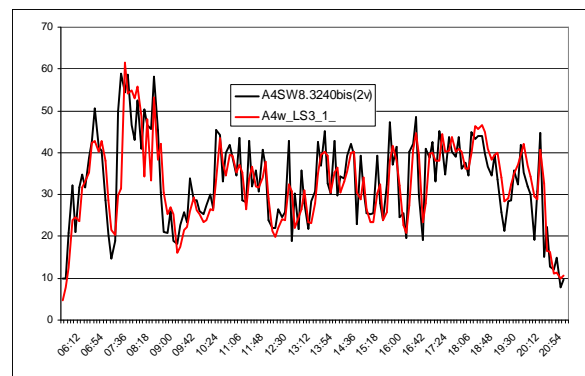
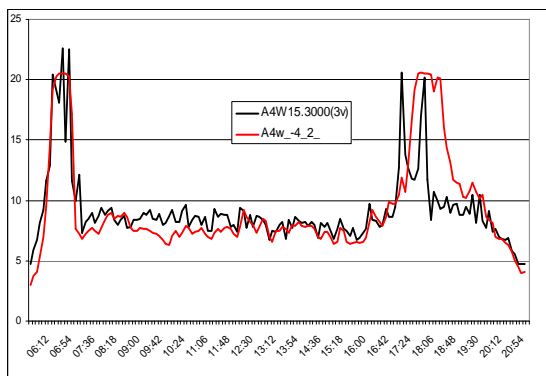
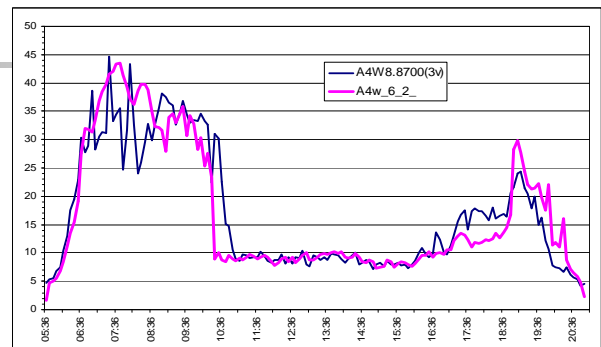
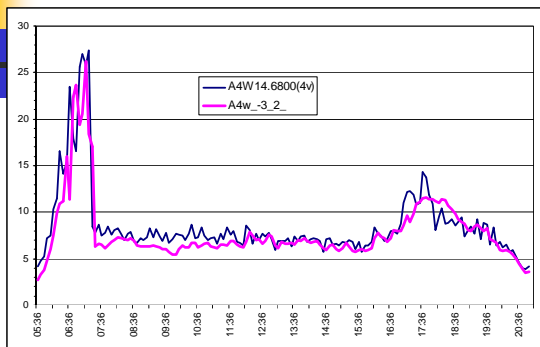
- ~ 200 Km d'autoroute
- 70 accès classiques
- 50 contrôlables:
20 convergents autoroutiers



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

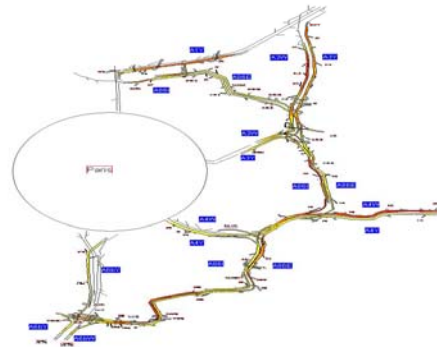
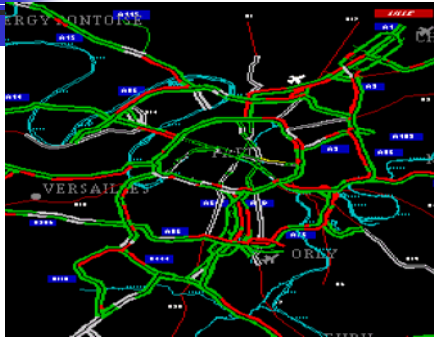
Résultats quantitatifs : A4W

TO en %

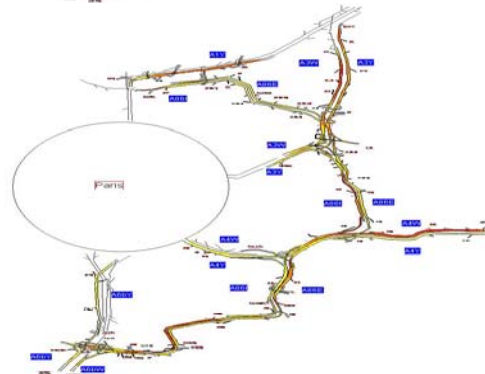
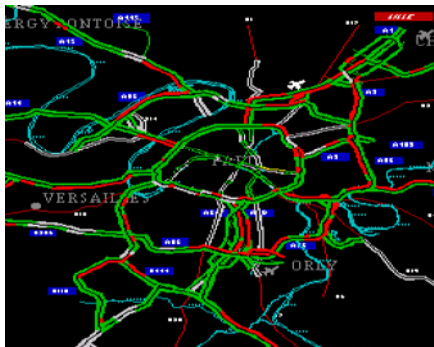


ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Résultats qualitatifs



Heure : 6h :30



Heure : 7h :30

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Cas du réseau la DEFENSE (Haj-Salem, 1998)

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Cas de la DEFENSE

■ Objectifs:

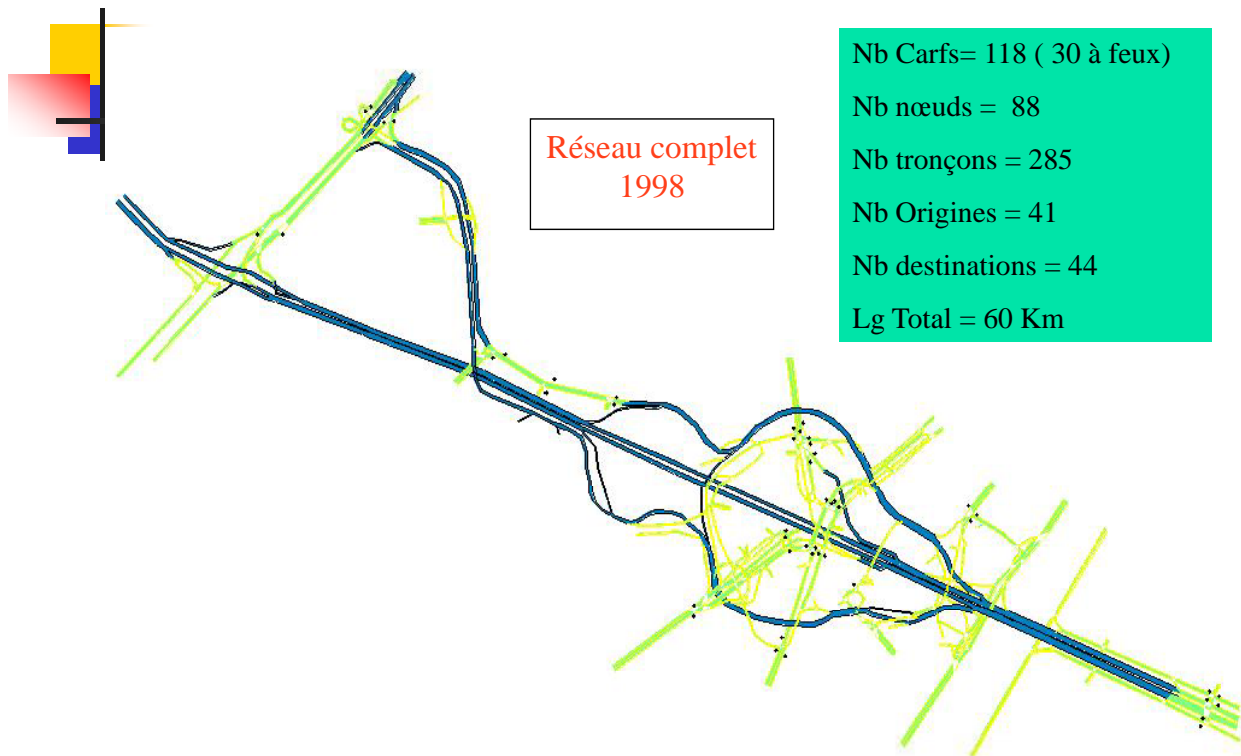
- Analyse et évaluation de l'impact de l'aménagement du Bd. Circulaire de la Défense: passage en urbain à l'horizon 2005

■ Étapes:

- Validation de METACOR sur le réseau actuel en mode affectation dynamique (O/D issues des enquêtes). Reconstitution de la situation actuelle
- Modification du réseau et test en simulation (utilisation des matrices OD 2005 issues de DAVIS)
- Évaluation de l'impact de ces modifications

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

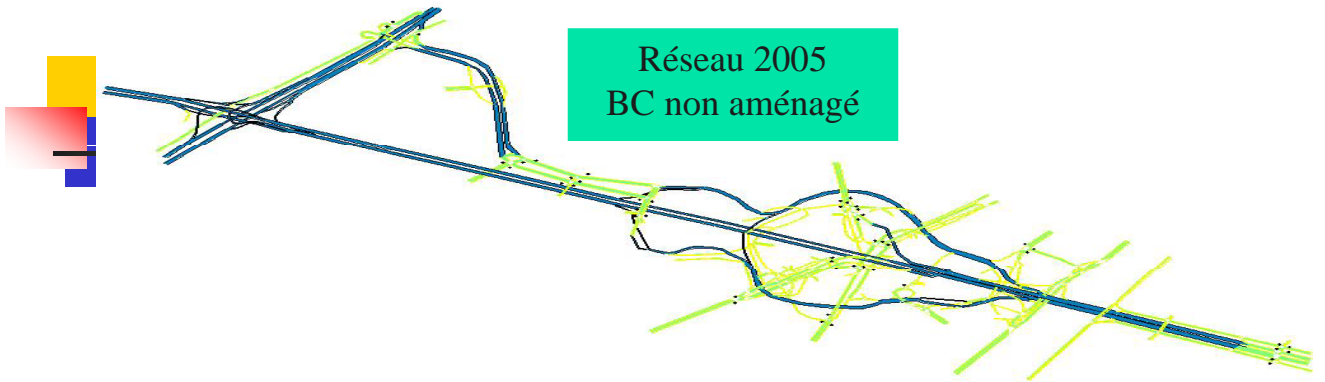
DEFENSE



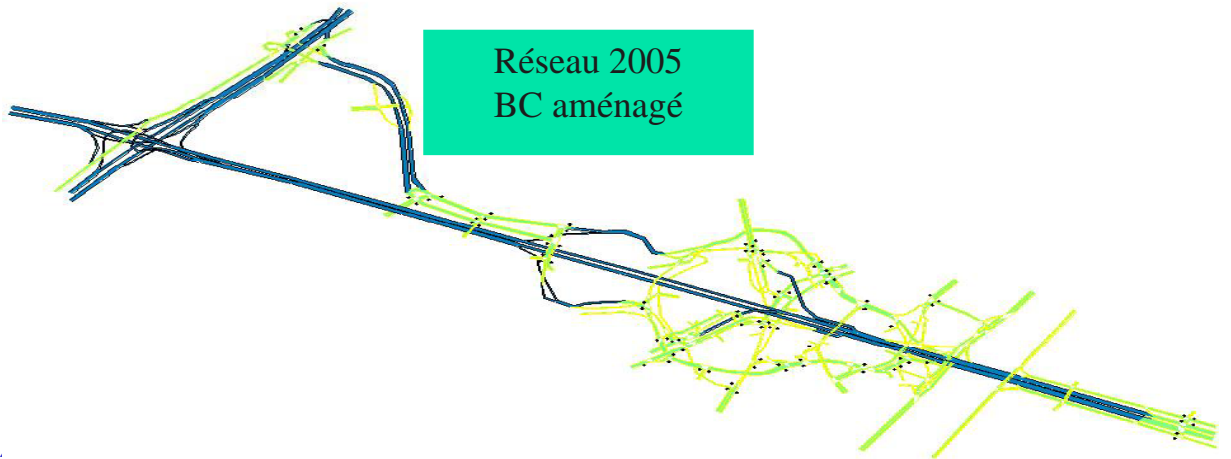
ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

DEFENSE

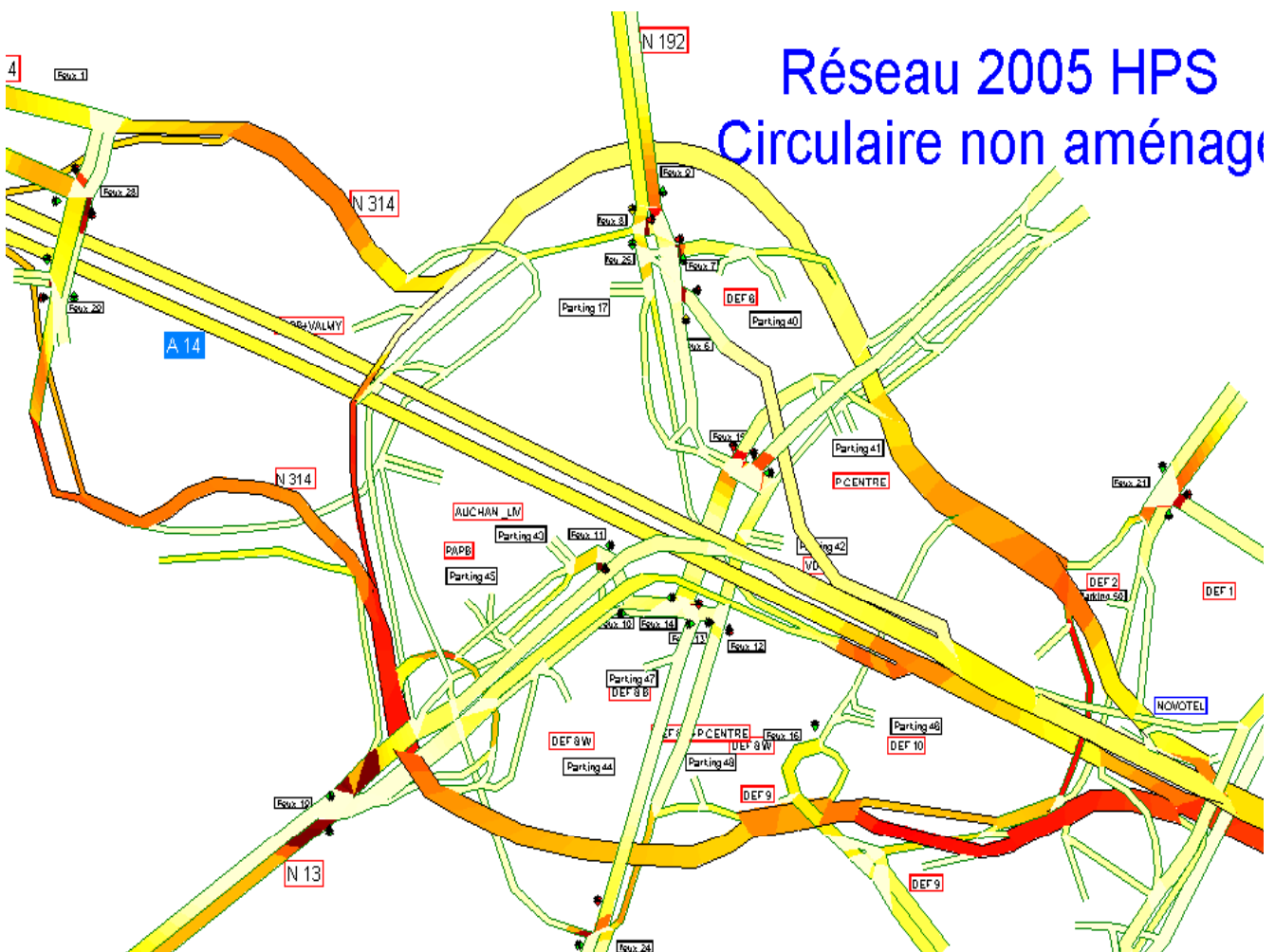
Réseau 2005
BC non aménagé

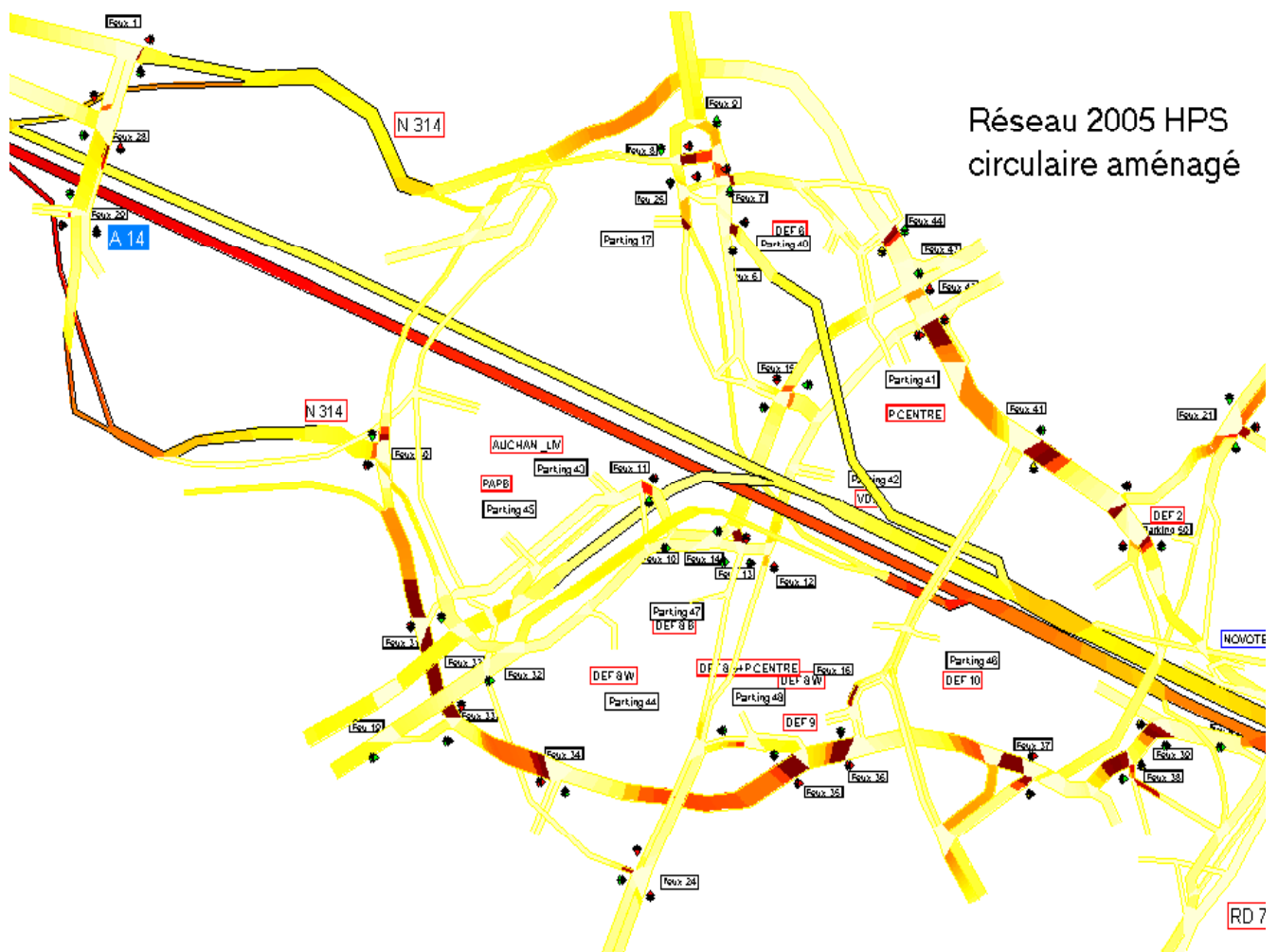


Réseau 2005
BC aménagé



Réseau 2005 HPS
Circulaire non aménagé





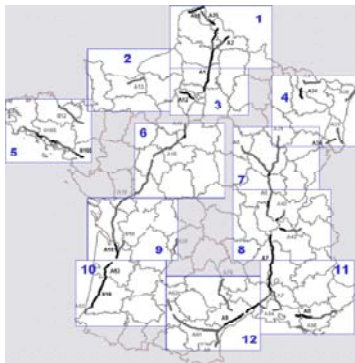
Conclusions DEFENSE

- Le passage en urbain du B.C. élimine la congestion: A14-BC la porte de Neuilly
- En contre partie : A4 est congestionnée
- Passage à 4 voies du convergent → congestion + faible
- **Conséquences:** travaux sont déjà réalisés

Gestion de vitesse dynamique



A7



✓ **Evaluation:**
(Cohen)

Sur A7 (réseau ASF)

- Plus de sécurité
- Plus d'efficacité (débits)
- Moins de pollution

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Gestion de voies

(Cohen)

- Utilisation dynamique de la BAU

- A4-A86 Est de Paris



- Voie bus sur la BAU A48 Grenoble



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

La congestion



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Principales causes de la congestion:

- Perturbations du trafic critique dense (freeze): interactions locales, **instabilités locales**
- **Déséquilibre** demande locale du trafic / offre locale de trafic
- Effets de réseau **autobloquants** (gridlock)
- Affectation du trafic: paradoxes de trafic, tragédie des communs: **effets de réseau et comportements très grande échelle**

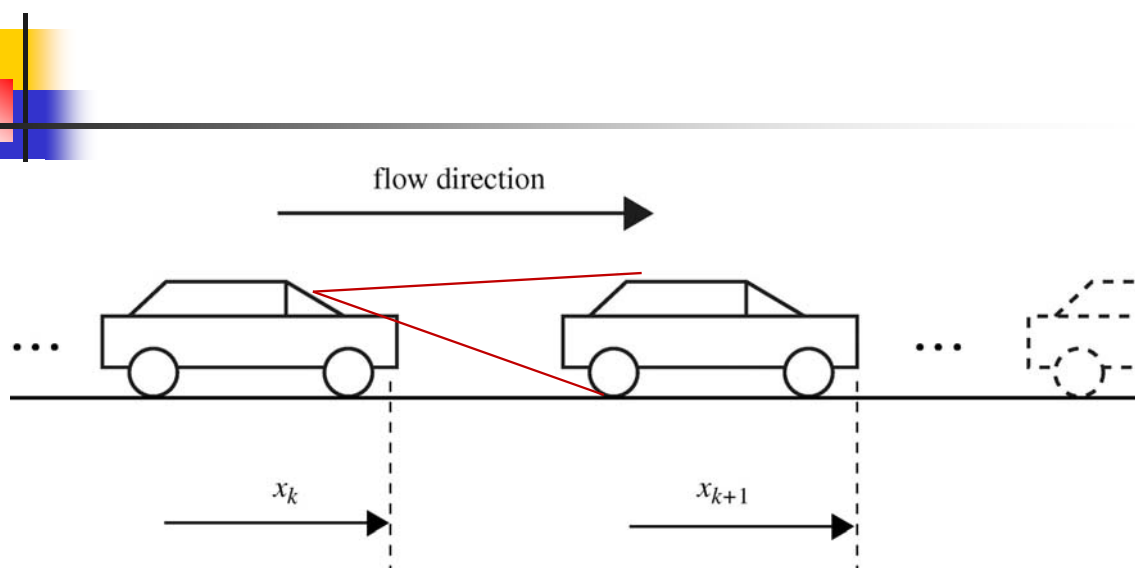
ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

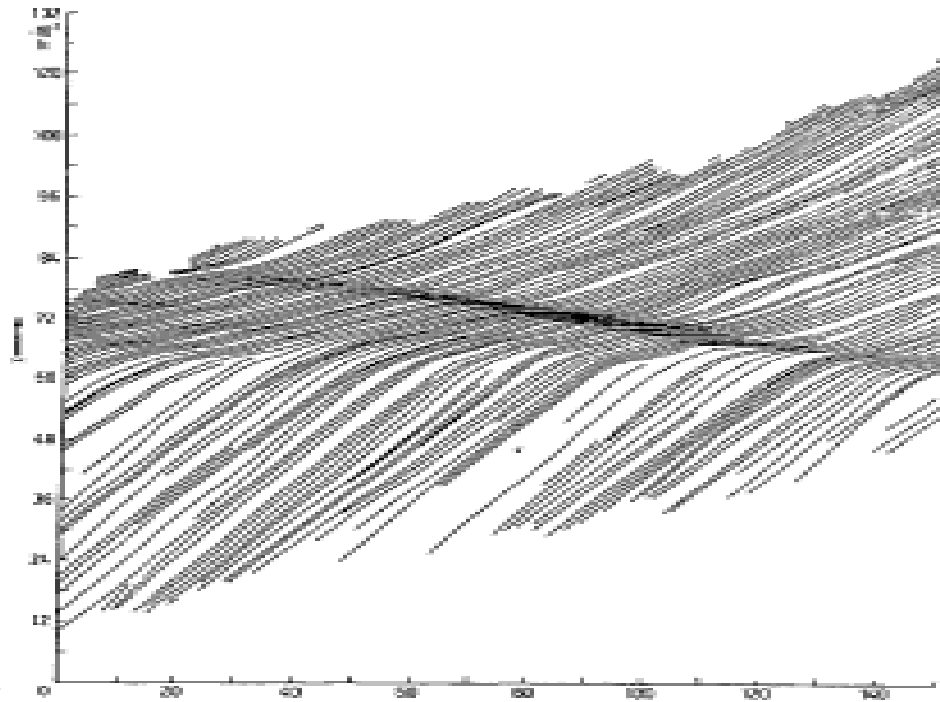
Interactions locales, instabilités locales

- Perception des véhicules
- Temps de réaction
- Capacités techniques des véhicules

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

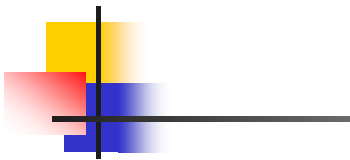
Platoon of vehicles, inspired from Bose & Ioannou (2003).



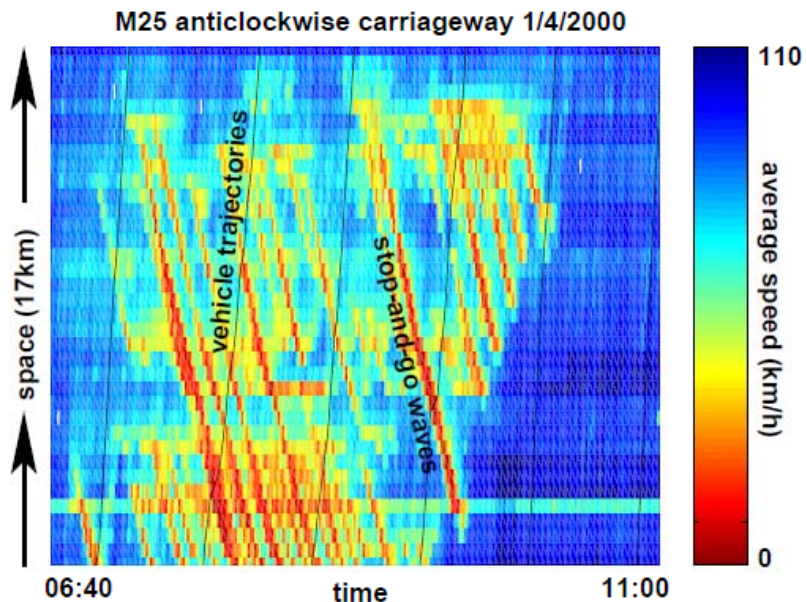


- Trajectoires des véhicules: apparition et propagation de perturbations

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010



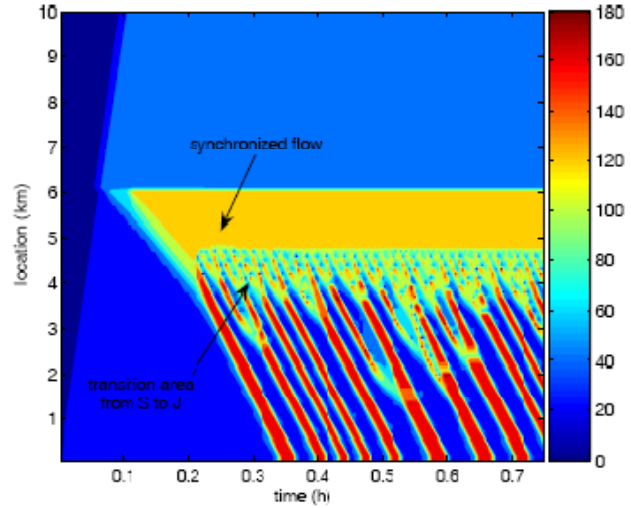
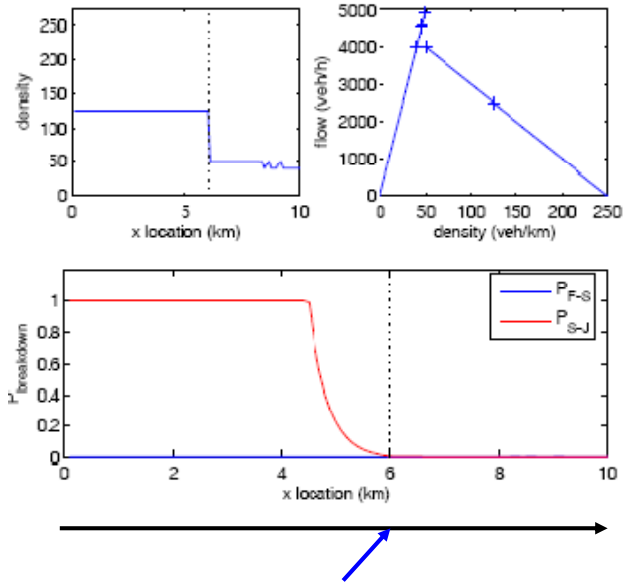
(RE Wilson)



- Propagation de perturbations: impact des conflits (rampes d'accès)

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Résultats: transition synchronisé – congestionné (convergent sur-saturé)



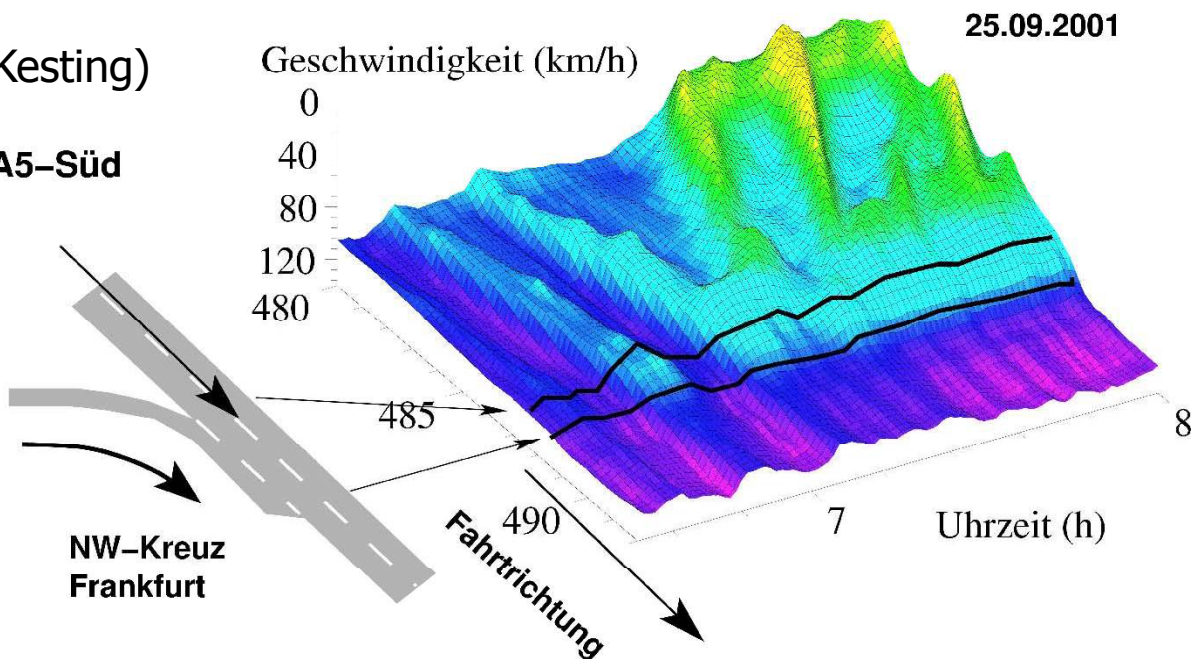
(TGF'07, Hoogendoorn, Van Lint)

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Conflit: impact d'une rampe d'accès

(Kesting)

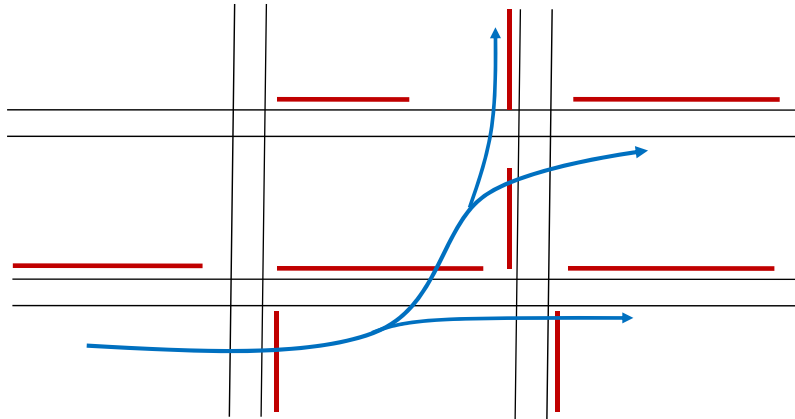
A5-Süd



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Réseaux à moyenne échelle: effets auto-bloquants

- Propagations de congestions



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

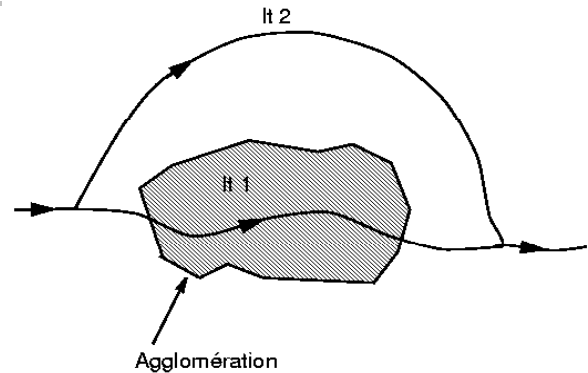
Affectation statique (1)

- **Choix d'itinéraire**
- Information parfaite (**usagers réguliers**)
- **Principe de Wardrop:**
 - Comportement rationnel et égoïste des usagers
 - Evaluation des itinéraires sur critères objectifs (coût / temps parcours etc)

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

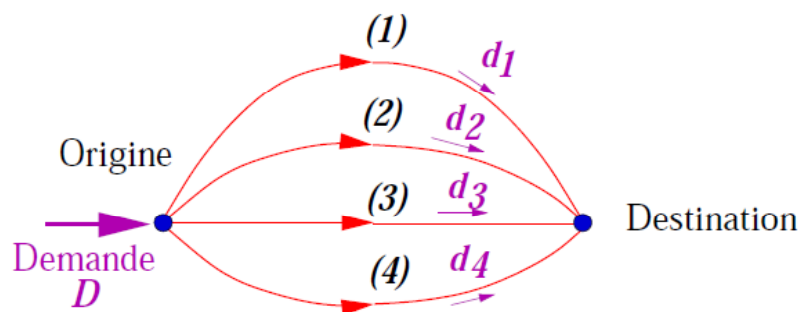
Affectation statique : exemple du contournement

- **Coût OD** = coût commun des itinéraires effectivement utilisés (**Offre du réseau**)
- Choix = itinéraire court
- Temps perdu en congestion = différence des temps de parcours



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Affectation et congestion



- Tant que la demande est supérieure à l'offre de l'itinéraire le plus court: congestion systémique
- Temps perdu en congestion: différence des temps de parcours

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

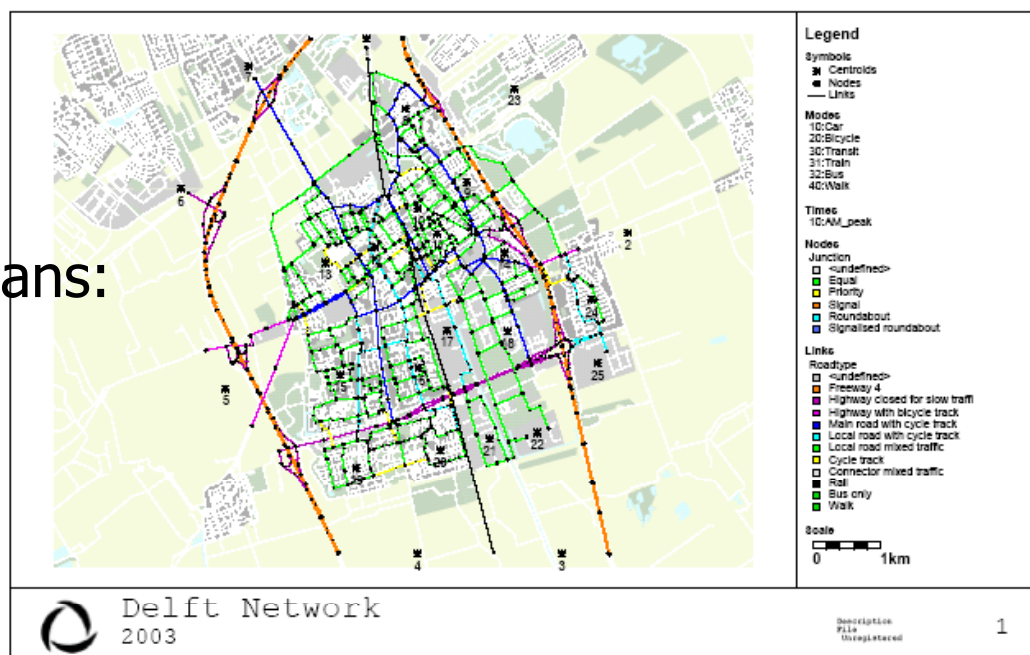
Modèles d'affectation

- Il existe une grande variété de modèles d'affectation statique (CONTRAM, EMME 3, POLYDROM, OMNITRANS, TRIPS-CUBE)
- Niveau industriel
- Affectation dynamique très difficile, peu de modèles (MAGISTER, DYNASMART,...)

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Exemple d'outil intégré

- Omnitrans:
Delft

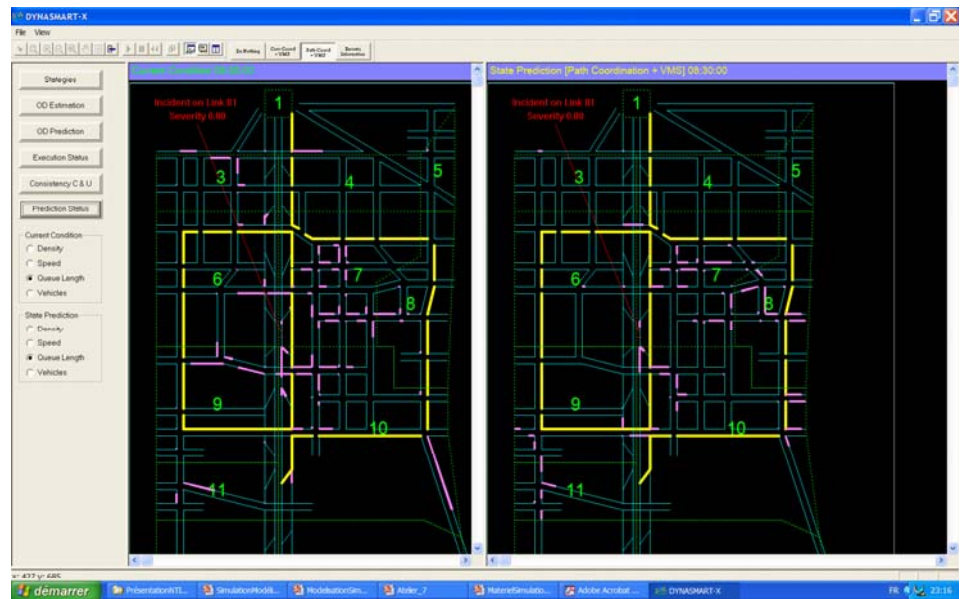


ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Ex: Dynasmart (LWR simplifié)

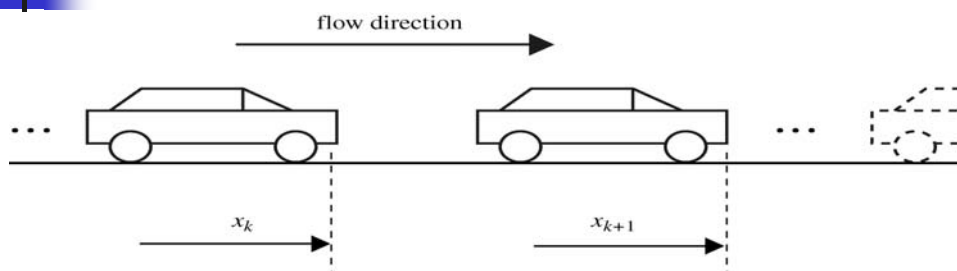


- VMS+Coordination
- Trafic + Affectation dynamique+ OD (Mahmassani et al.)



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Simulation microscopique



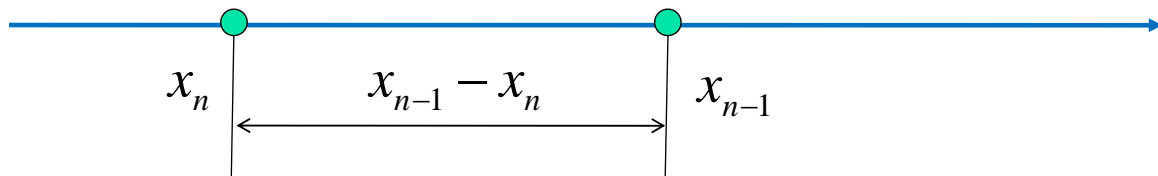
- Lois de poursuite: interaction d'un véhicule avec le(s) précédent(s), avec éventuellement un délai de réaction
- Changements de voies, conflits, zones de surveillance...

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Loi de poursuite

- Exemples: Bando, IDM, OVM
- Par exemple

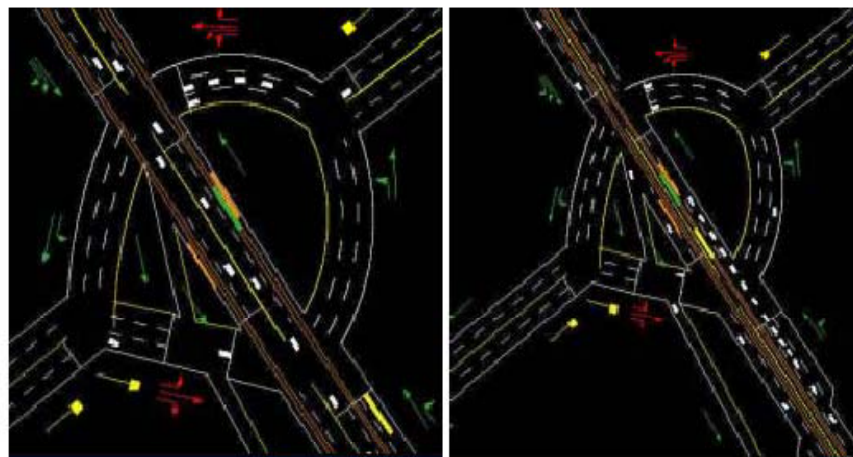
$$\frac{dx_n}{dt}(t + \tau) = V(x_{n-1}(t) - x_n(t))$$



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Exemple d'application (Dynasmit)

- Simulation microscopique du trafic: test de scénarios, aide à la conception



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

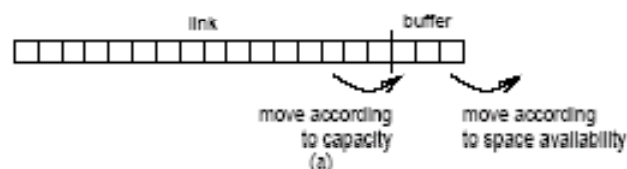
Applicabilité des simulations microscopiques

- Excellents **outils interactifs** (niveau industriel: PARAMICS, AIMSUN, VIPER, VISSIM,...)
- Bonne description du trafic à petite échelle → application pour les **aménagements**
- **Très nombreux paramètres** (difficiles à calibrer)
- Incapacité à rendre compte du comportement à grande échelle (émergent): **problème d'instabilité du système dynamique**

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Autre possibilité de modélisation et simulation: automates cellulaires

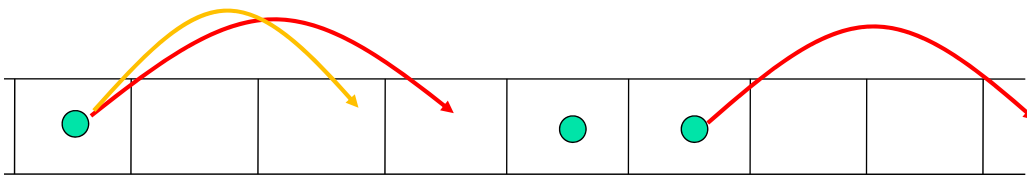
- CA (Nagel, Schreckenberg, Appert): origine physique statistique (dynamique des gaz)
- Simulation efficace des très grands systèmes
- Méthode récente: Peu de recul
- Application: Nord-Rhein-Westphalen: information voyageurs)
- Ex: Lobry (CA pour modéliser le renouvellement de la forêt tropicale): des **régularités** (périodicités) apparaissent **purement combinatoires**



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Automate cellulaire

- Discrétisation du temps, de l'espace et de la vitesse (cellules: 7.5 m, pas de temps 1 s par exemple)
- Sauts: fonction de l'occupation des cellules précédentes, de l'accélération, probabilité de dépassement...



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Un exemple

- CA (Maerivoet, Logghe, De Moor, Immers) vs macro

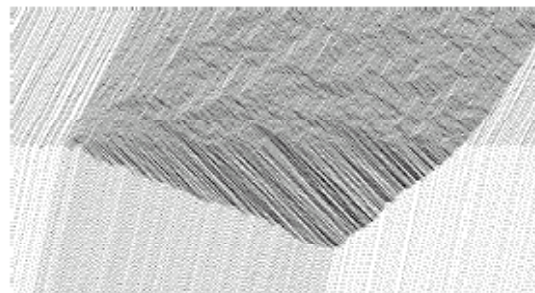


Fig. 2. A time/space diagram after simulation of the STCA: each vehicle is represented by a single dot (the time and space axes are oriented horizontally, respectively vertically). At the end of segment A, we can see the formation and dissolution of an upstream growing congested region, related to the short traffic burst.

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Simulation de type « fourmis »

- Ant-like traffic (Kunwar, Johr, Nishinari, Schadschneider, Chowdury)

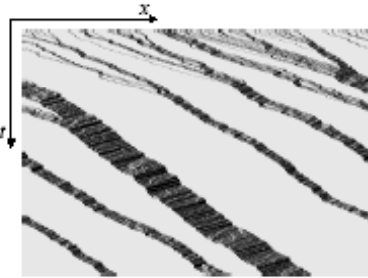
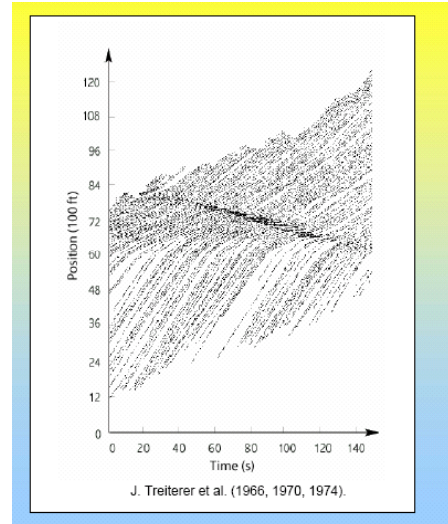


FIG. 1: Spatial-temporal behaviours of loose clusters in the low density case ($\rho = 0.16$). Parameters are $Q = 0.75$, $q = 0.25$, $f = 0.005$. We see the loose clusters emerge from the random initial configuration, and will eventually merge into one big loose cluster if we take sufficiently long time.



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

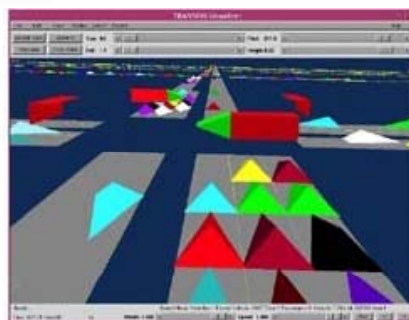
Connaissance du système: modéliser l'ensemble des déplacements – Exemple: TRANSIMS – Multiagents



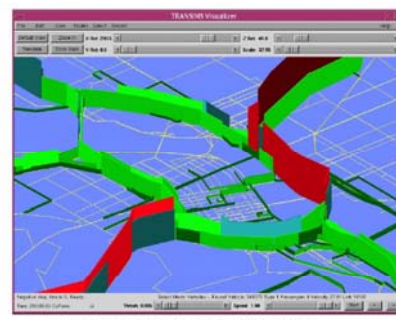
The Output Visualizer displaying a zoomed-in view of the Portland EMME2 Network.



The Output Visualizer displaying vehicles on the Portland EMME2 Network.



The Output Visualizer displaying a view in the Wide-Area Facility mode.



The Output Visualizer displaying cumulative plan data.

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Complexité du calcul

- Nagel, Marchal: calcul modèle multiagents des déplacements de toute la Suisse (basé sur activités)
- Grande complexité du recueil de données (activités, cf Transims)

Figure 5: Domain decomposition of a simulation of Switzerland. Different colors denote domains belonging to different CPUs.

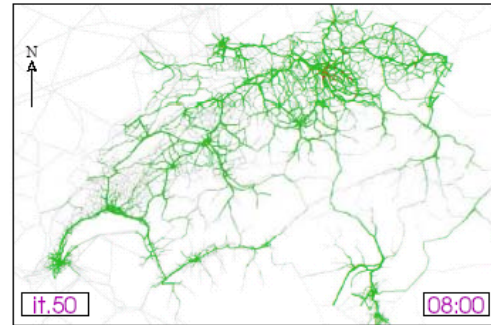
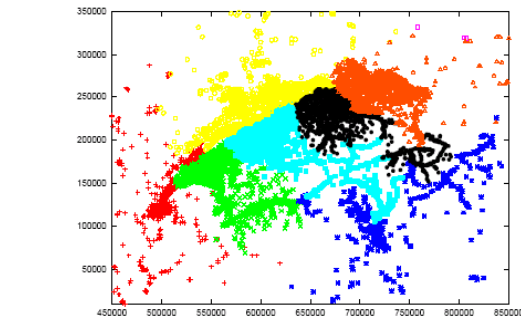


FIGURE 3: Snapshot of Switzerland at 8:00 AM. From the queue micro-simulation, iteration 50.

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Modèles d'usage du sol

- Modèles d'usage du sol: **interaction urbanisme-économie-système de transport**
- Grande **complexité**
- Prise en compte **chaînes de déplacements**
- Traditionnel: extension 4 étapes
- Multiagents: modèles d'usages du sol (Marchal)

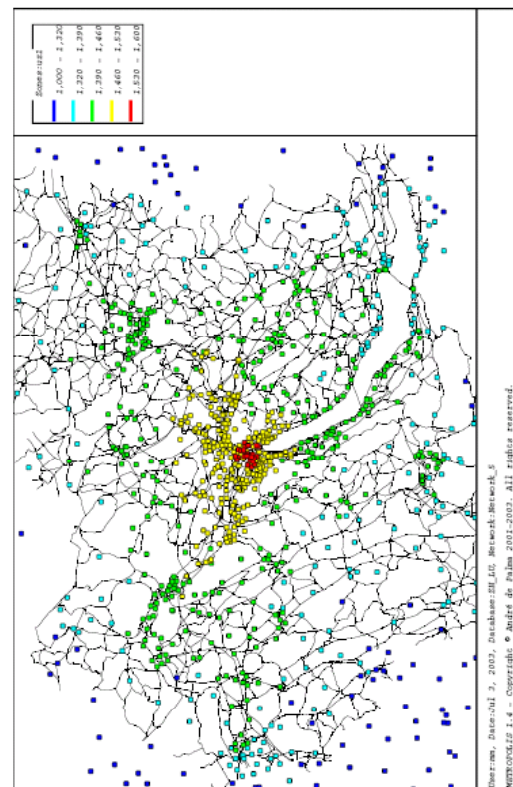
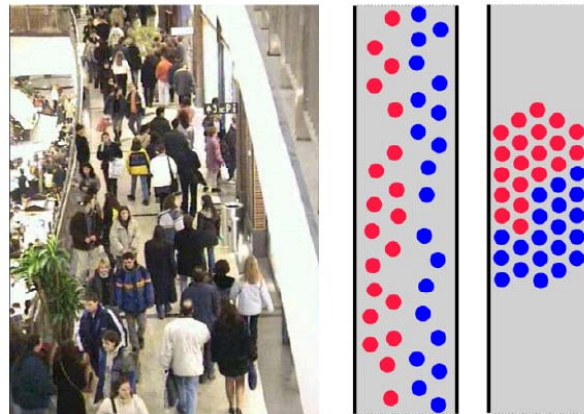


Figure 2. Zurich area: transportation network and rent values

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Modèles piétons: données expérimentales (piétons)

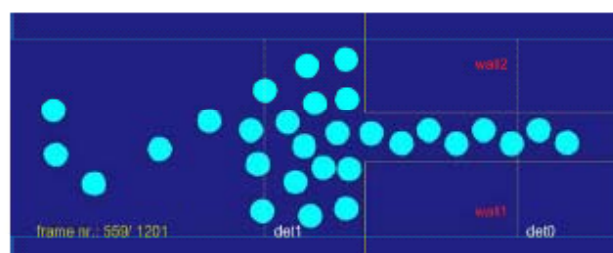
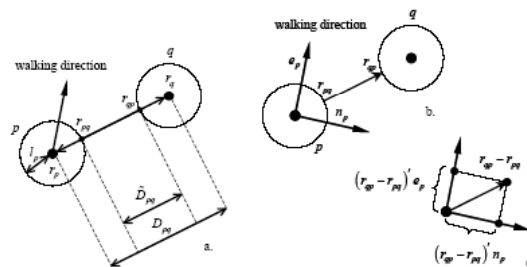
- Piétons (Helbing): observations, simulation



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Des modèles basés sur lois physiques

- Lois physiques : Forces sociales
 - Interaction (évitement, répulsion),
 - destination
- Hoogendoorn, Helbing



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Expériences reproductibles

- Expériences (piétons, Hoogendoorn, Daamen, Bovy)

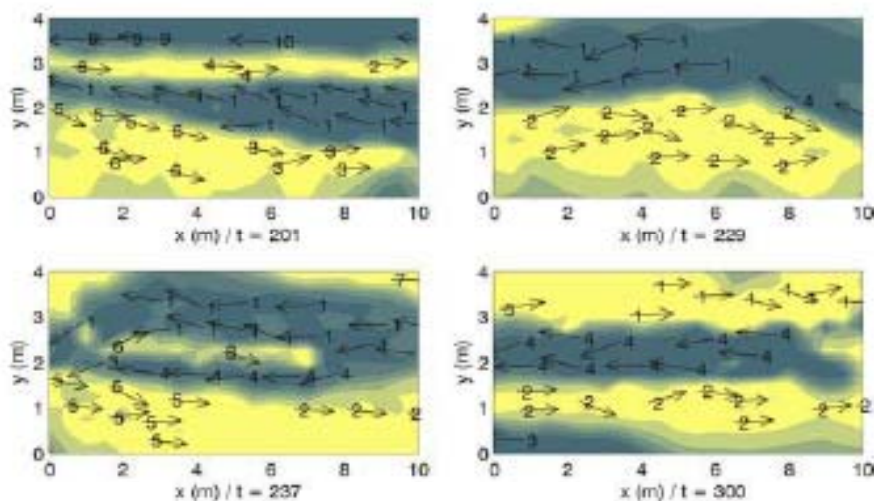


Figure 1 Examples of pedestrian experiments; a) narrow bottleneck experiment, and b) four-directional crossing flow experiment. Yellow circles (and demarcation on the floor) indicate the respective walking areas. The figure also shows the so-called pincushion distortion and the slight rotation of the camera (around 1%).

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Modèle mathématique (affectation + écoulement 2-D)

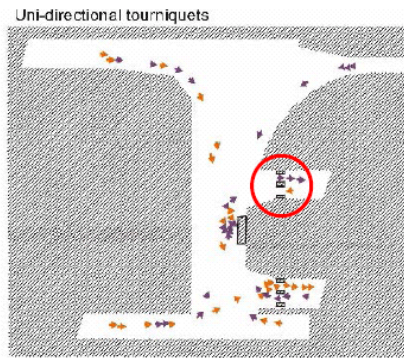
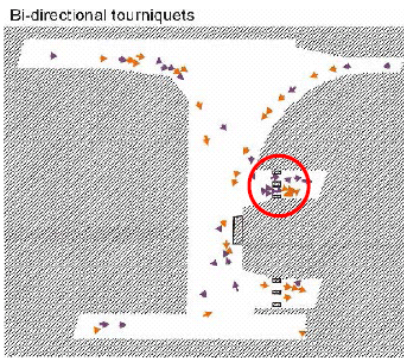
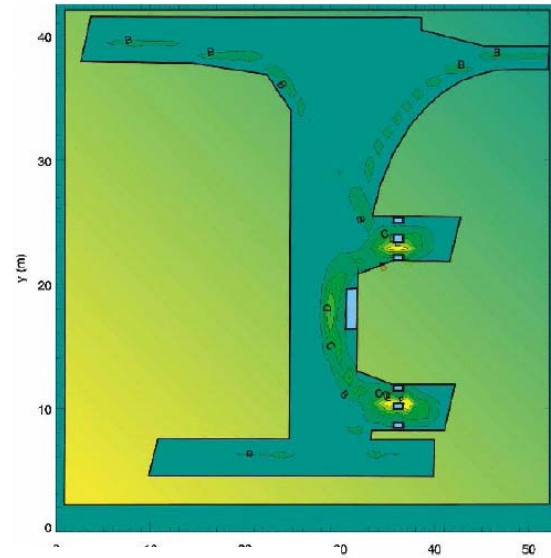
- EdP Hoogendoorn



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Application

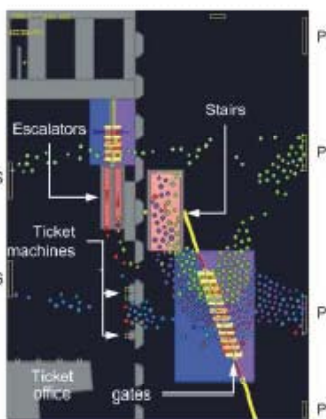
- Utilisation: optimisation des infras. Modèle 2-D et microsimulation Nomad (Hoogendoorn)



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Evacuation

- Evacuation (NOMAD métro-train: Hoogendoorn, Hauser, Rodriguez)

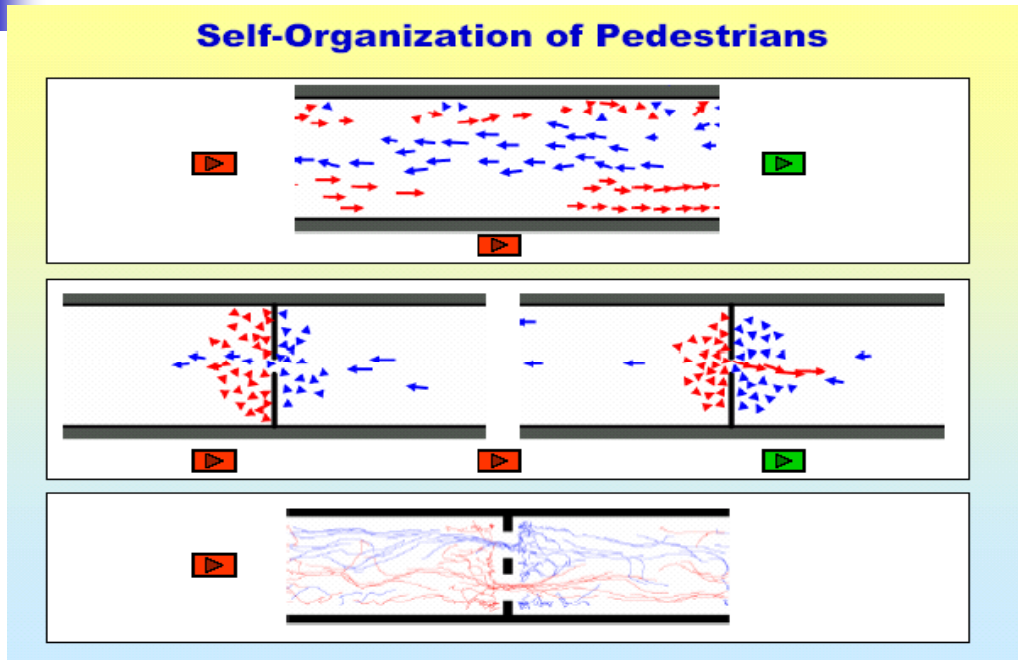


d. Rossio metro connection level (including gate system); P: train platforms; M: metro.

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Auto-organisation

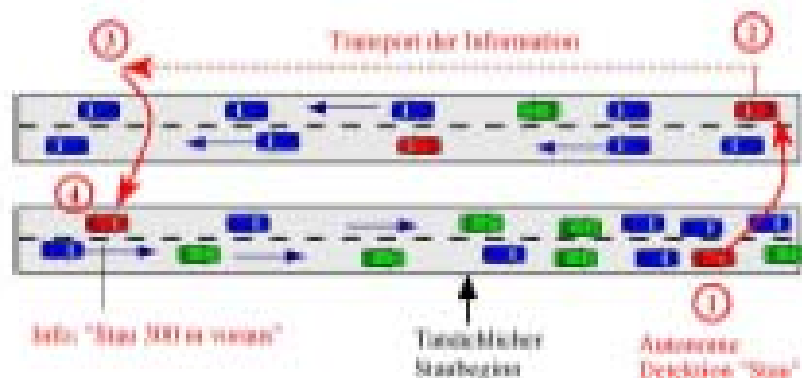
- Piétons: auto-organisation (Helbing)



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Autre possibilité d'auto-organisation

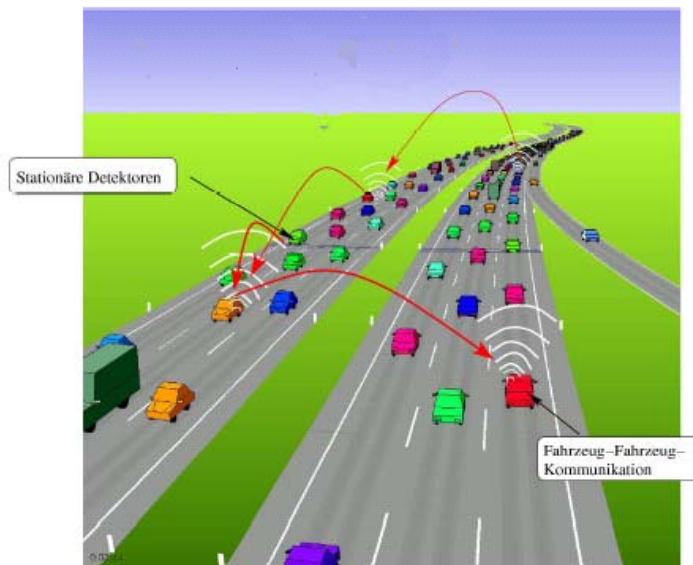
- Communication entre véhicules, entre véhicules et infrastructures



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Exemples de commandes

- TP, Etats trafic etc
- Utilisation: portables, taxis
- Temps parcours, information trafic,...

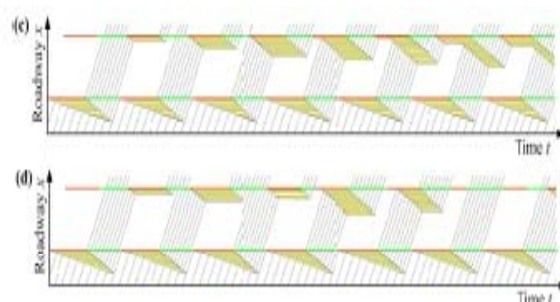


(Helbing)

ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010

Exemples commandes

- Commande auto-organisée des feux
- Principes (Helbing, Lämmmer, Lebacque):
 - Collectivité de carrefours
 - pression entre carrefours
 - Description macroscopique du trafic



ALS, Colloque « Les mathématiques dans la société », le 20 novembre 2010