

# La ville numérique et l'enjeu de la mobilité : une approche systémique

Dominique Barth

**DAVID** : Données et Algorithmes pour la Ville Intelligente et Durable  
&

Fédération de recherche CNRS « **SIHS** : Sciences Informatiques, Humaines et Sociales »

Université de Versailles – St Quentin



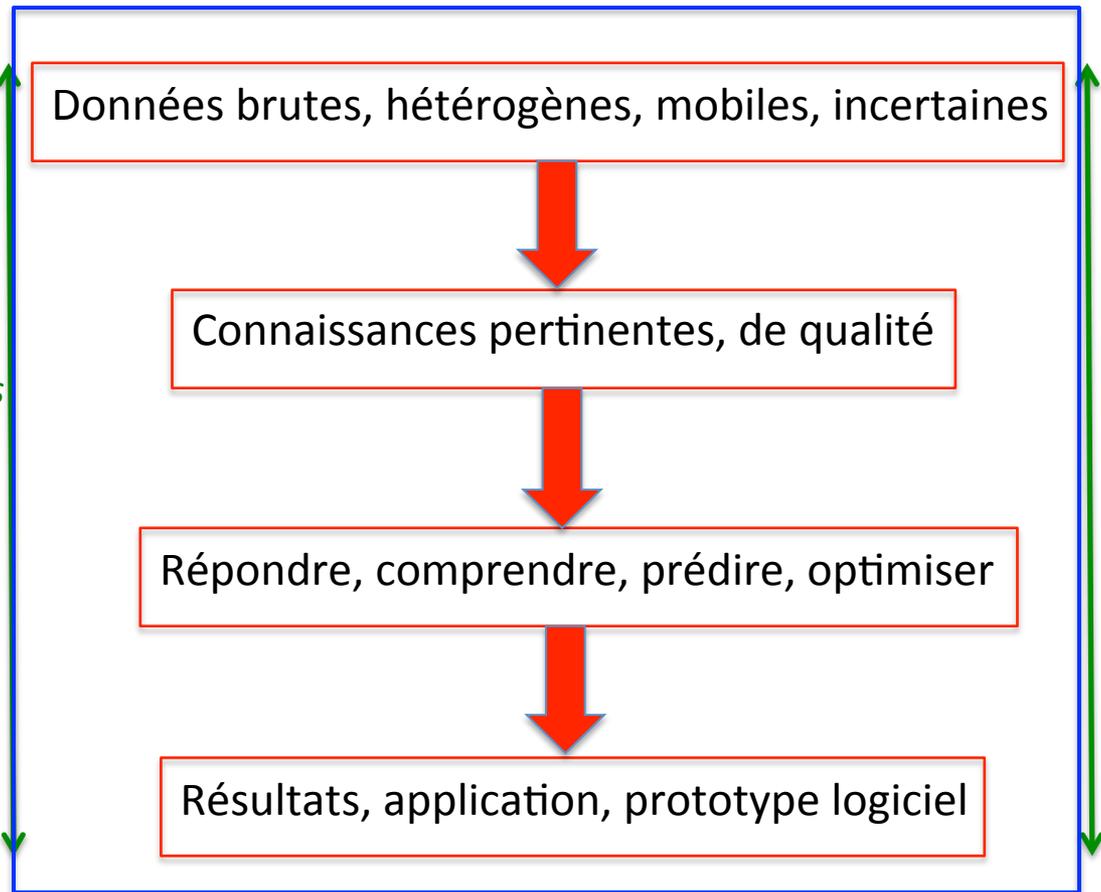
# David

données et algorithmes  
pour une ville intelligente et durable

*de l'individu à l'infrastructure*

*Un projet de recherche scientifique pluri-thématique et tourné vers l'interdisciplinarité pour couvrir la chaîne allant des données jusqu'à l'application dans le domaine de la ville intelligente et durable*

**Bigdata -> données sécurisées -> connaissances -> modélisation -> algorithmes -> applications**



*Confidentialité et sécurité des données,  
Statut juridique des données et algorithmes*

*Validation théorique,  
Analyse par simulation*

*Interaction avec les disciplines concernées par les domaines d'application abordés*

## Trois équipes de recherche reconnues dans leur domaine d'expertise:

### ADAM : Ambient Data Access and Mining

(9 chercheur permanents, 9 doctorants); Resp. **Karine Zeitouni**

*Big data, fouilles de données, , bases de données spatio-temporelles, qualité des données, performance des traitements.*

### ALMOST : Algorithms and Stochastic Models

(13 chercheurs permanents, 15 doctorants); Resp. **Dominique Barth**

*Modèles stochastiques, analyse des données; Performances, simulation; Algorithmique et optimisation; Machine learning et I.A., Théorie algorithmique des jeux ; Fiabilité, Sureté de fonctionnement*

### PETRUS (UVSQ-INRIA) : Personnel and trusted cloud

(6 chercheurs permanents, 6 doctorants); Resp. **Nicolas Ancaux**

*Systèmes de gestion de bases de données, Confidentialité des données, Vie privée, Architectures de confiance, Cloud personnel, Privacy-by-Design, Empowerment*

## Trois axes de recherche transverses :

**Mobilités et villes urbaines :** solutions numériques pour la compréhension des Mobilités dans leur complexité, la gouvernance des infrastructures et l'expérimentation et la prédiction de nouveaux usages et solutions.

**Données, justice et société :** analyse et prédiction de jurisprudences, statut juridique de la donnée et usages de données sociologiques respectueux de la vie privée.

**Energie et ville durable :** outils d'intelligence artificielle pour la gestion intelligente de l'énergie en milieu urbain et à l'analyse et la restitution de données d'exposition à la population urbaine.

# Fédération de Recherche en Sciences Informatiques, Humaines et Sociales

de Versailles – St Quentin **(SIHS)**

*Laboratoires membres à l'UVSQ*



**: Droit des Affaires et Nouvelles Technologies, EA UVSQ**



**: Données et Algorithmes pour la Ville Intelligente et Durable, EA UVSQ**



**: Centre de recherches Sociologiques sur le Droit et les Institutions Pénales,  
UMR CNRS**



**: Centre d'Histoire Culturelle des Sociétés contemporaines, EA UVSQ**



**: Professions Institutions Temporalités, UMR CNRS**



**: Centre d'études sur la mondialisation, les conflits, les  
territoires et les vulnérabilités, EA UVSQ**

Susciter et développer une réelle interdisciplinarité entre différentes disciplines des **SHS** (*droit, histoire, sociologie, sciences politiques*), et des disciplines des **STIC** pour relever des défis sociétaux majeurs

- Thème **Territoire et environnement**

La ville métabolique; Territoires et inégalités

- Thème **Mobilités**

Mobilité et transports, Mobilité des populations

- Thème **Société réelle et société virtuelle**

Statut et protection des données; Marchés et nouvelles technologies;  
Intelligence collective, nouvelles pratiques professionnelles

- Thème **Culture et patrimoine**

Patrimoine; Média et communication

Contact : Dominique Barth ([Dominique.Barth@uvsq.fr](mailto:Dominique.Barth@uvsq.fr))

## Thèmes de recherche :

### Thème Mobilités

Laboratoires/équipes partenaires : *DANTE, DAVID, PRINTEMPS.*

#### Mots clefs :

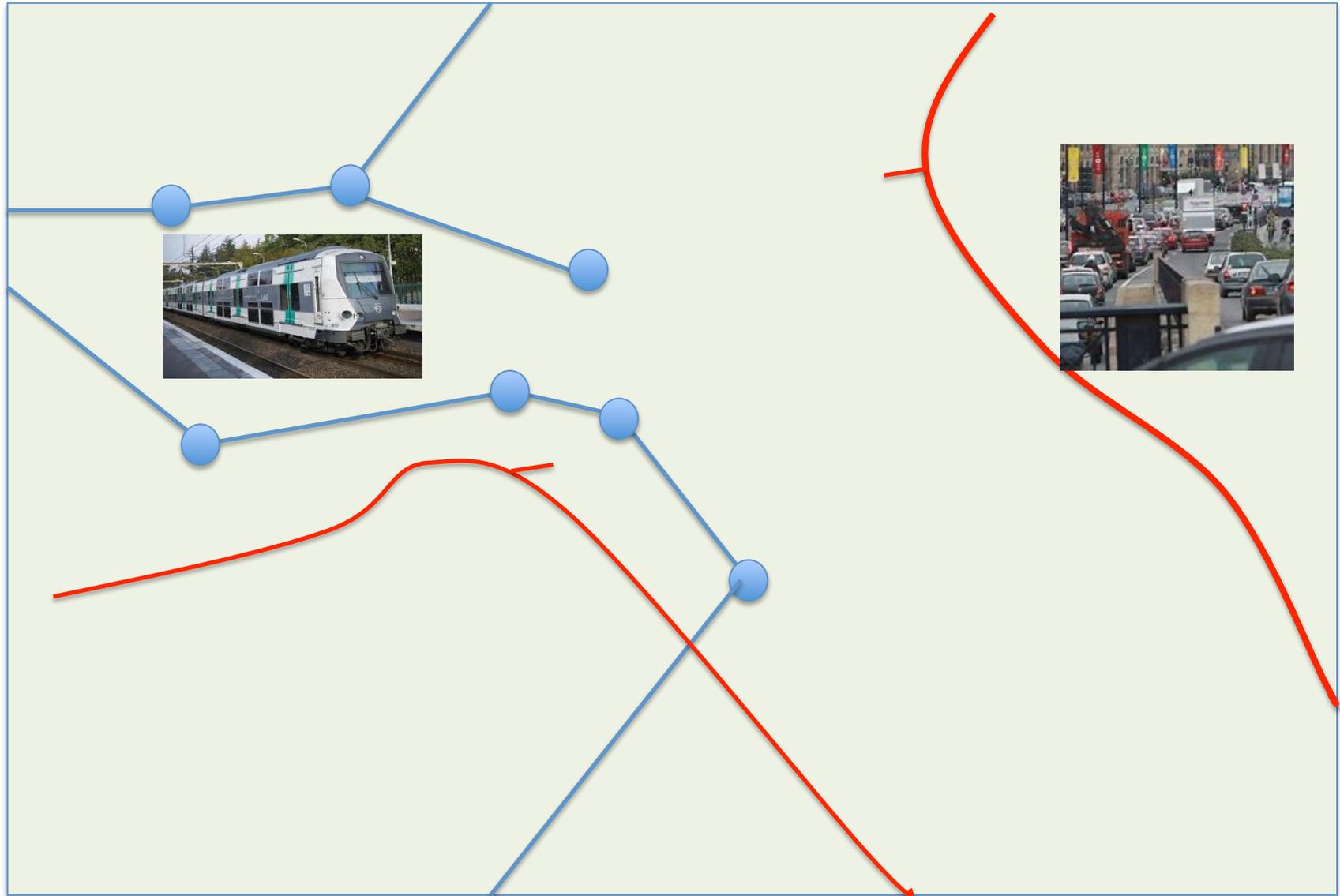
**Mobilité et transport** : sûreté de fonctionnement (des individus) et appropriation des véhicules de demain (autonomes, communicants, durables) ; ingénierie collaborative et modes d'organisation pour les projets de conception de nouveaux véhicules ; usages sociaux de l'automobile et analyse quantitative ; modélisation des flux de population pour le dimensionnement d'infrastructures de transport.

**Mobilités des populations** : mobilités urbaines et analyse de traces (données sociales, traces de mobilité des réseaux télécoms cellulaires) ; études des migrations internationales et extraction/analyse de connaissances.

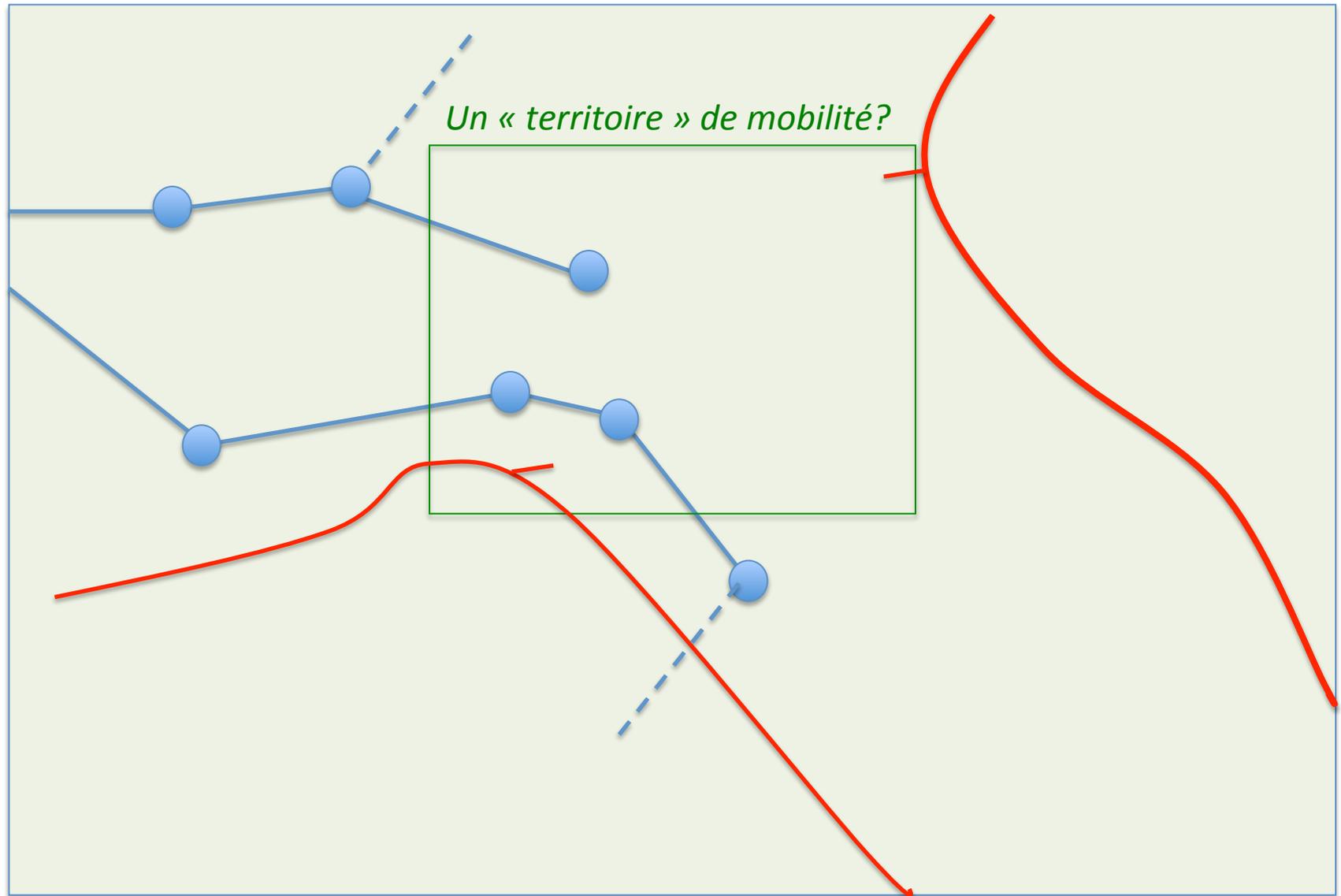
# Une vision systémique des mobilités

*« dans son ensemble, sa complexité, avec une approche interdisciplinaire  
(géographie, histoire, sociologie, économie,...) »*

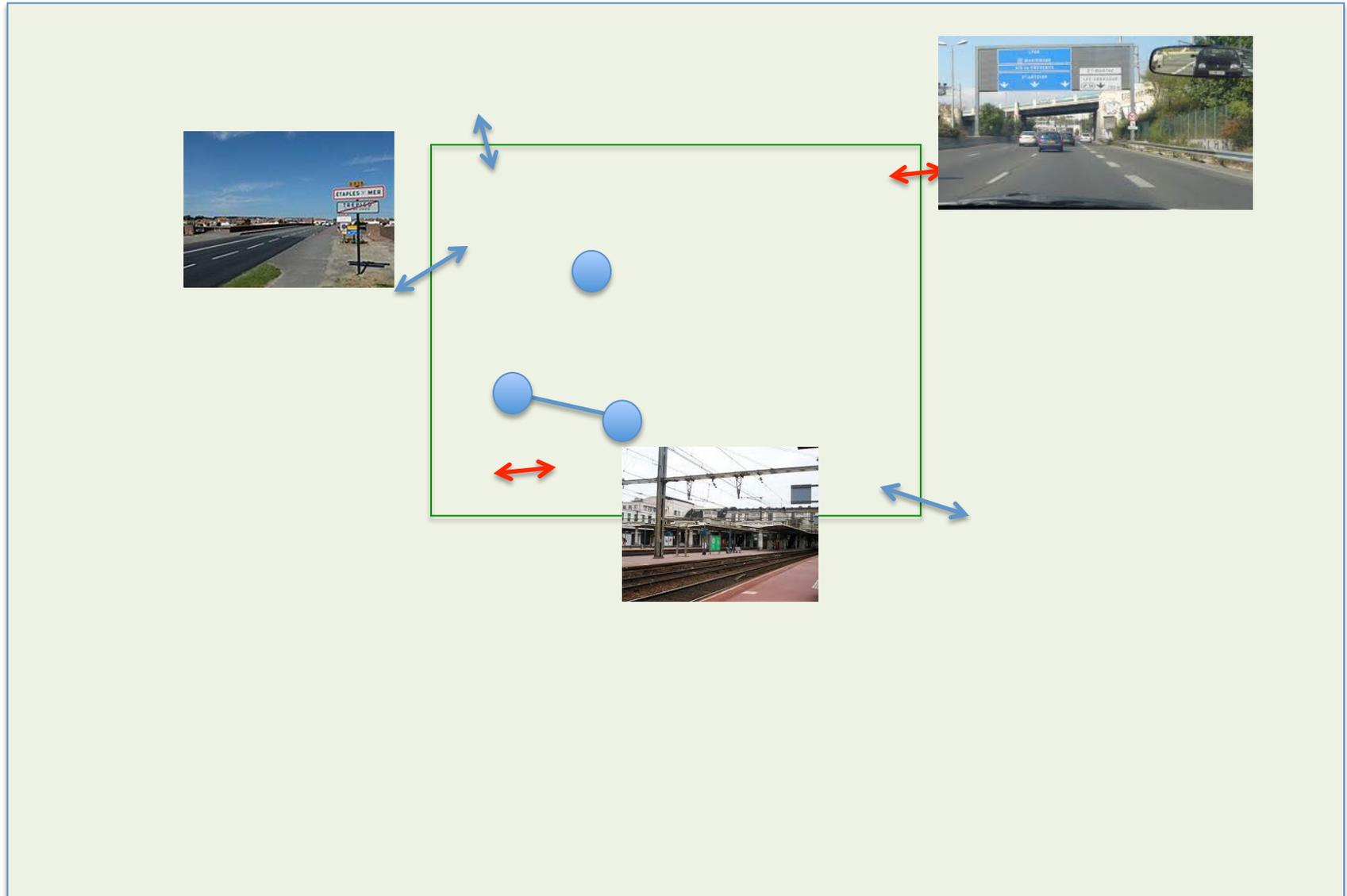
## Mobilités urbaines : une vision systémique



## Mobilités urbaines : une vision systémique

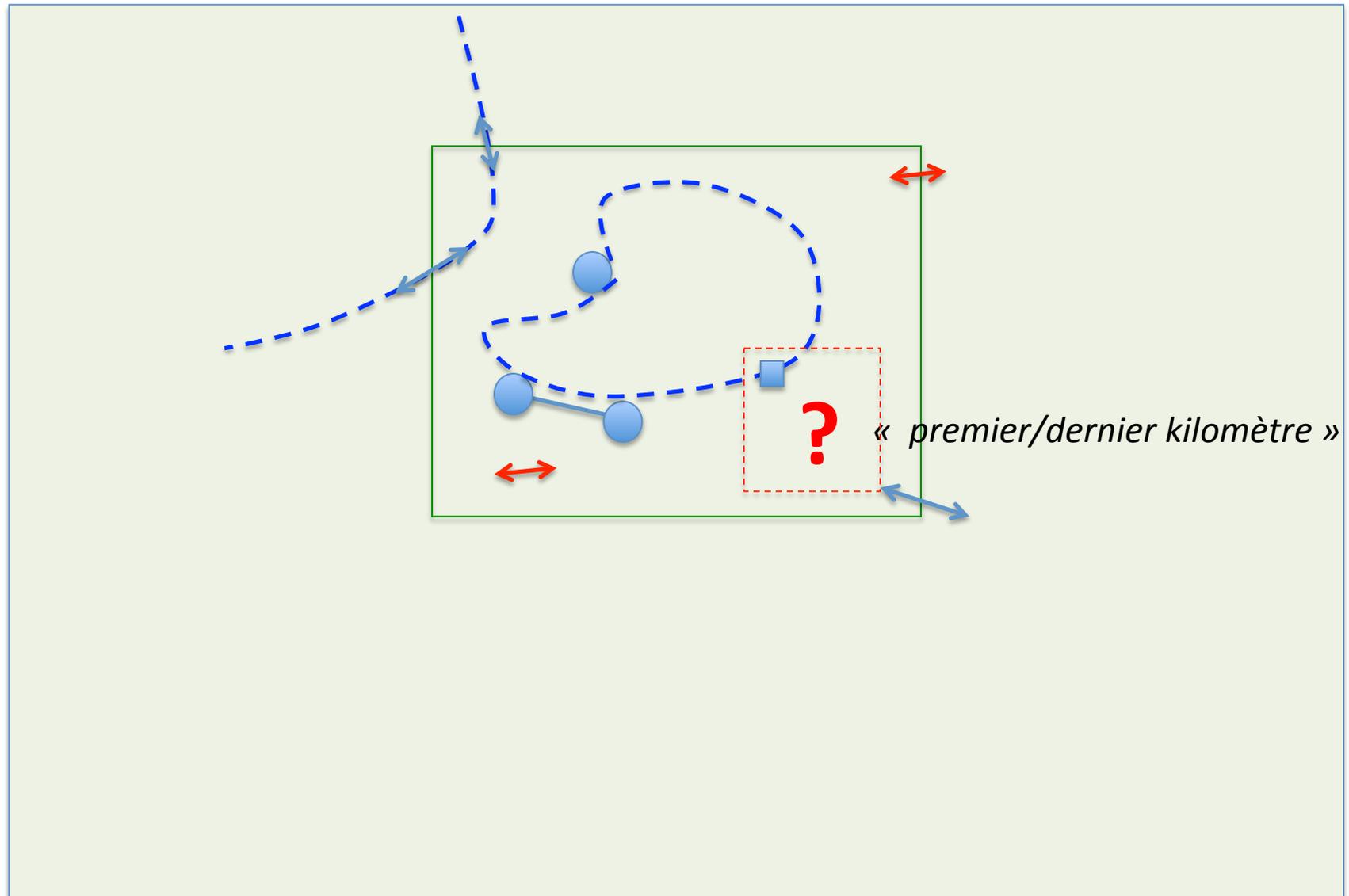


# Mobilités urbaines : une vision systémique



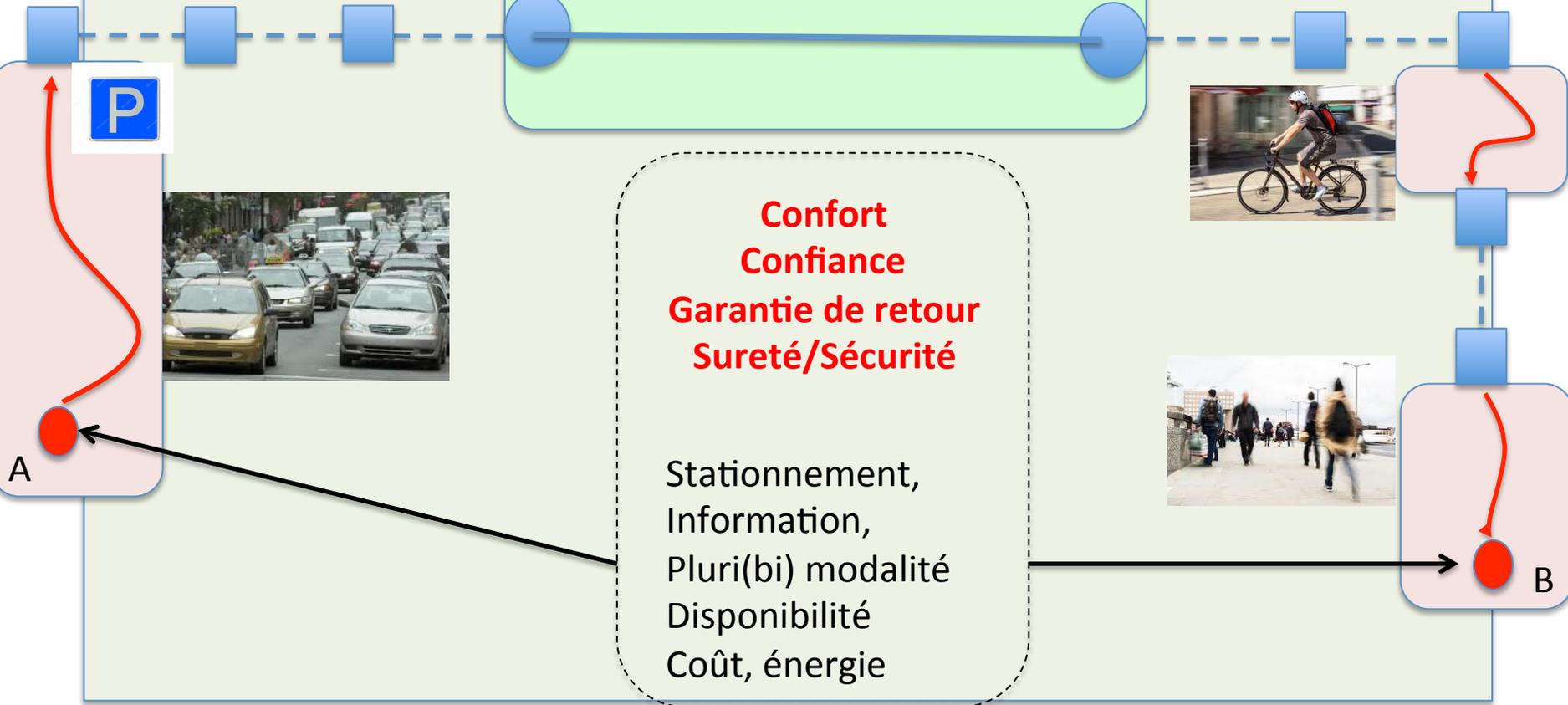


## Mobilités urbaines : une vision systémique

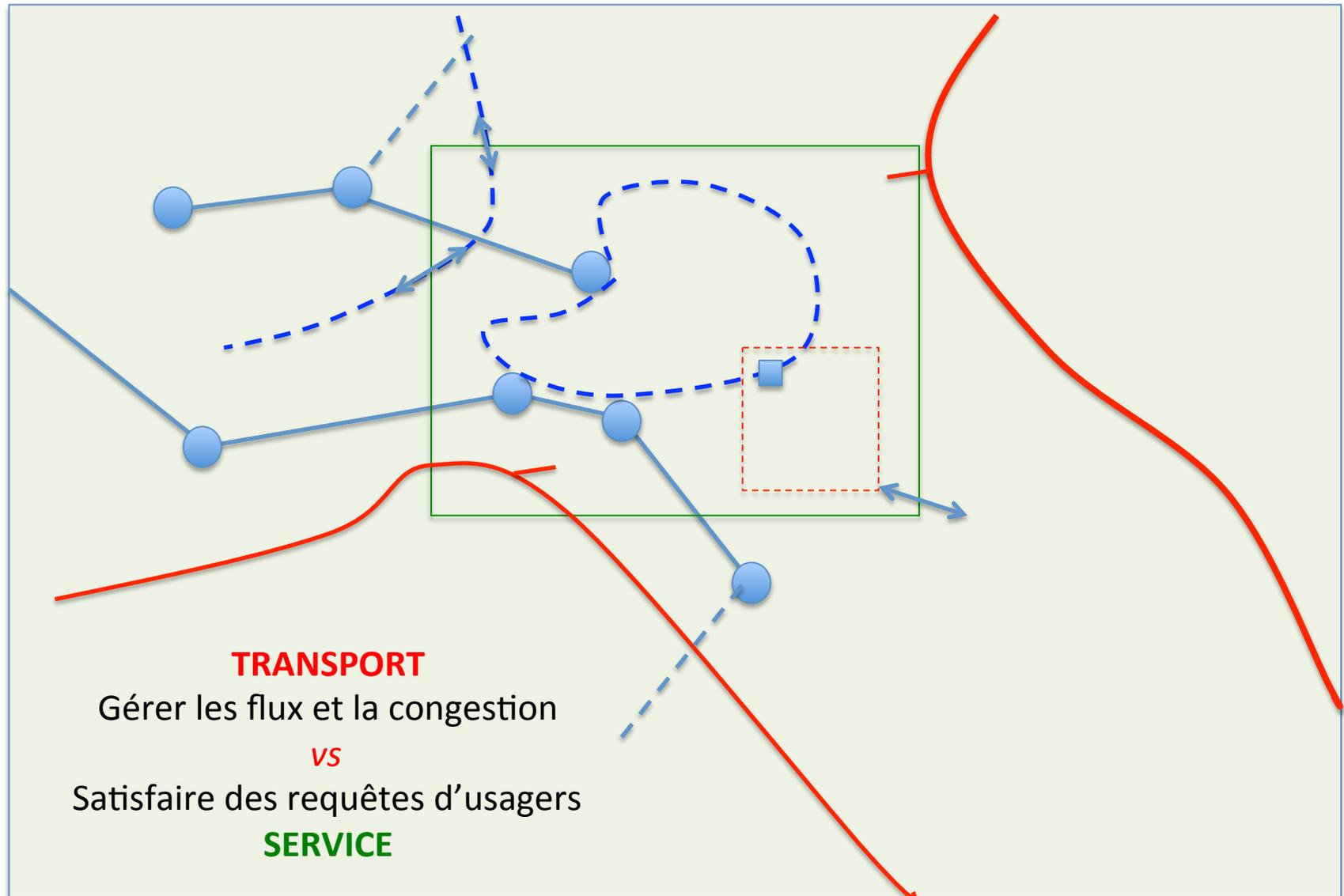




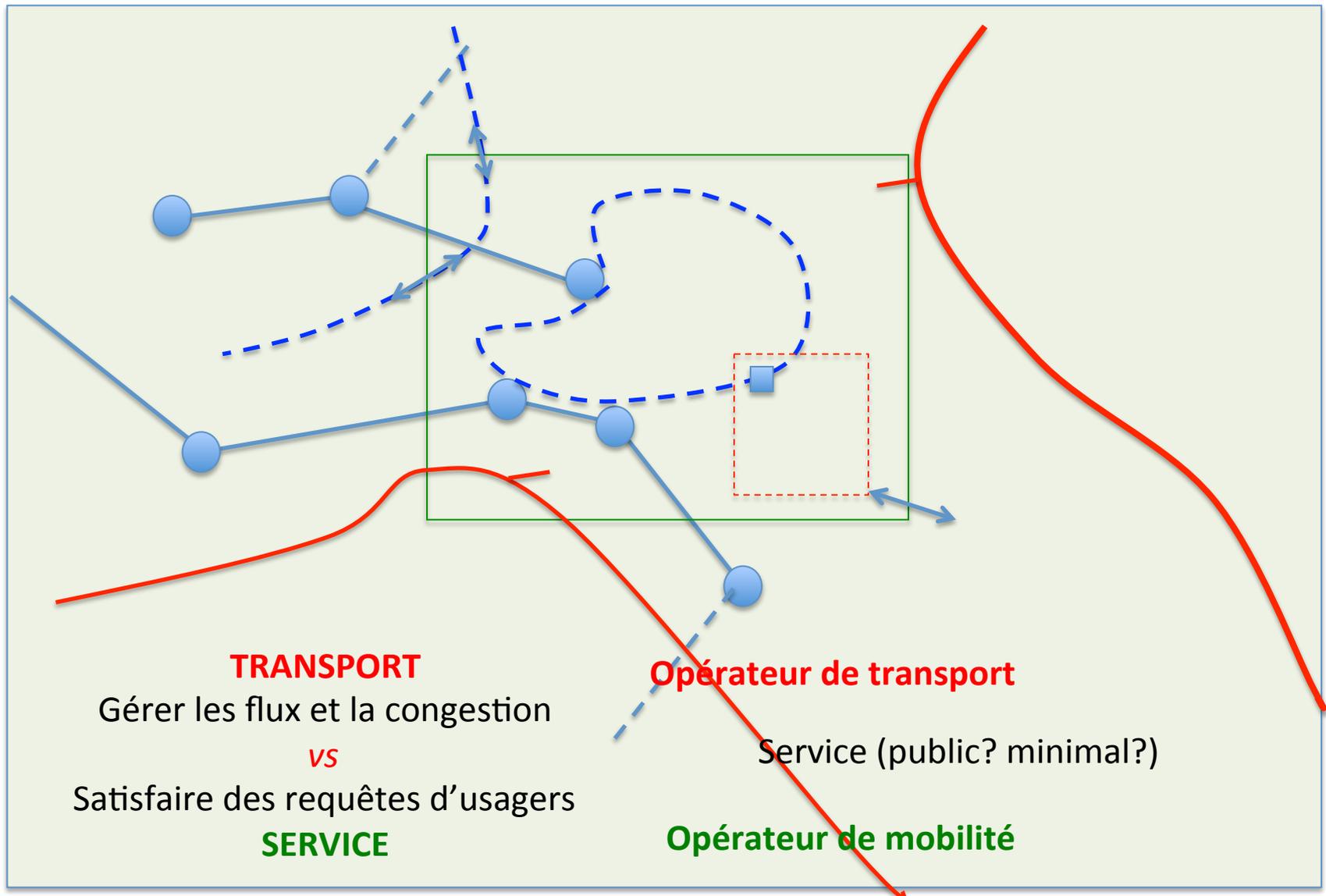
# La mobilité vue de l'utilisateur



## Une vision systémique et sociologique?



## Une vision systémique et sociologique?



# Vers quelles solutions par l'évolution des infrastructures de transport?

Agir sur l'infrastructure de transport (TCSP) : capacité, fréquence, adaptabilité, énergie, envt?



« On avait espéré, lors du vote du Chemin de Fer Métropolitain, que celui-ci, en emportant ses cargaisons de voyageurs, déblaierait d'autant la chaussée. Il n'en fut rien et cette vérité apparut que plus on offre au public des moyens de circuler, plus il circule. »

## TRANSPORT

Gérer les flux et la congestion

vs

Satisfaire des requêtes d'utilisateurs

## SERVICE

*Lecture Pour Tous, 1909*

# Vers quelles solutions pour la mobilité des personnes et des biens?

## Boite à outils « MaaS » :

- Multi-modalité/ confort de déplacement
- Information des usagers (*population en fracture*)
- Mobilité douce, vélo en prêt, ...
- Auto-partage, stationnement
- Transport à la demande (coût/service)
- Livraison partagée, service public mobile



### TRANSPORT

Gérer les flux et la congestion

vs

Satisfaire des requêtes d'usagers

### SERVICE

# Vers quelles solutions pour la mobilité des personnes et des biens?

## Boite à outils « MaaS » :

### EVITER UNE LOGIQUE DE SILOS

- Multi-modalité/ confort de déplacement
- Information des usagers (*population en fracture*)
- Mobilité douce, vélo en prêt, ...
- Auto-partage, stationnement
- Transport à la demande (coût/service)
- Livraison partagée, service public mobile

**Co-construction, appropriation,  
Pas « acceptabilité » !**



#### TRANSPORT

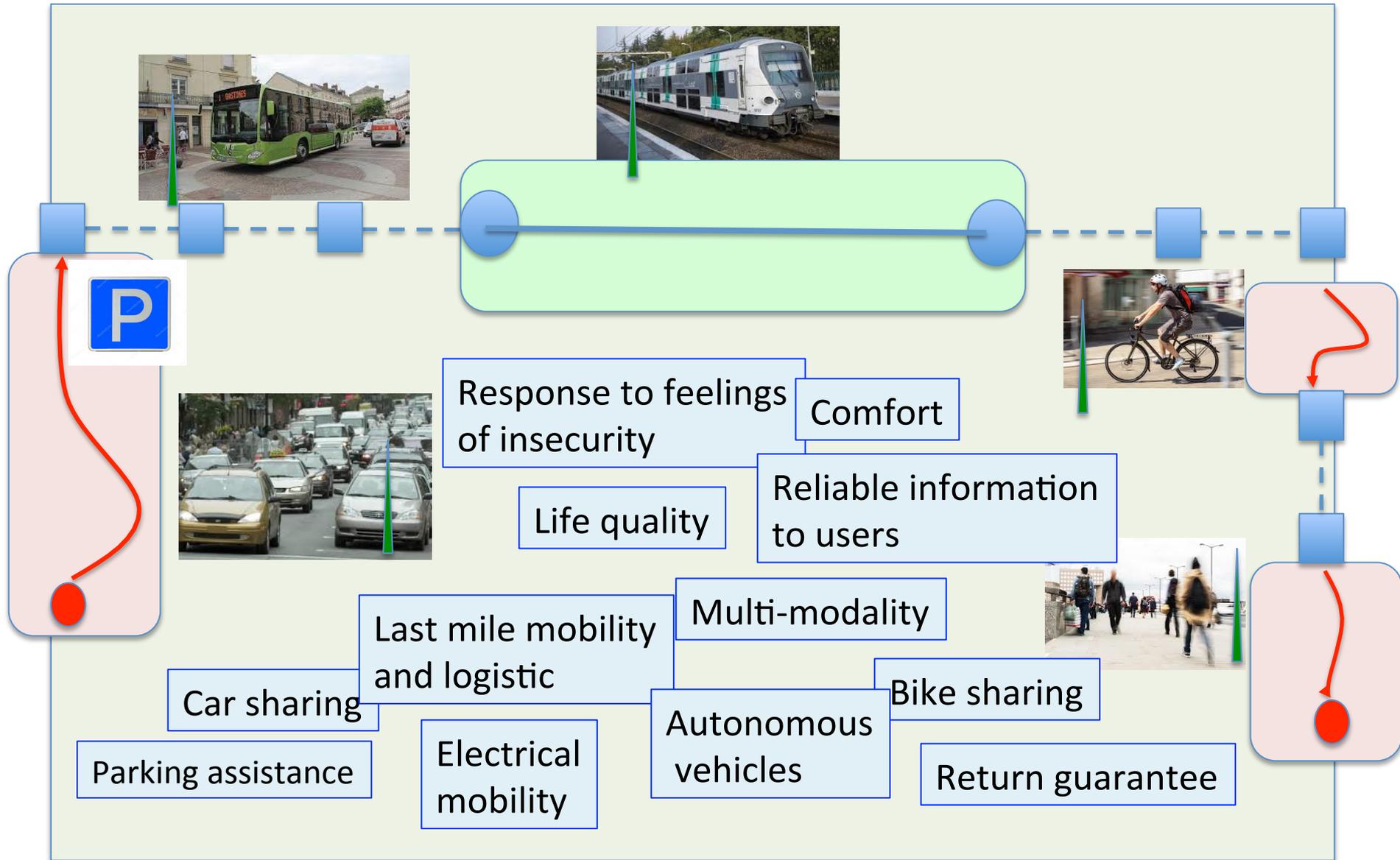
Gérer les flux et la congestion

vs

Satisfaire des requêtes d'usagers

#### SERVICE

# Vers quelles solutions pour la mobilité des personnes et des biens?



## Vers quelles solutions territoriales?

### Ville numérique et mobilité:

#### Optimiser l'organisation du territoire et de ses activités

- Planifier et dimensionner en fonction de la mobilité
- Inclure la composante énergétique
- Coordonner en concertation les horaires d'ouverture/fermeture de différents acteurs
- Nouveaux comportement professionnels, de commerce, d'accès aux services publics

**Associer les citoyens et les acteurs d'un territoire**

**Répondre aux situations de fracture**

**Comprendre la mobilité dans sa complexité**



## Enjeux de la ville de demain pour la mobilité

### **1. Comprendre les mobilités urbaines dans leur complexité**

- Usages et territoires (mobilité choisie/subie), flux, mobilité et activités
- Lier mobilité, qualité de vie, spécificité, santé,...
- Transport et multi-modalité (usage et appréhension)
- Impacts énergétique et environnementaux
- Fractures sociales/numériques/mobilité

## Enjeux de la ville de demain pour la mobilité

### **1. Comprendre les mobilités urbaines et péri-urbaines**

### **2. Permettre une gouvernance agile de la mobilité**

- Equipement, infrastructures (transport, énergie, télécom) et services de mobilité
- Information et interaction (ciblée) avec les usagers
- Coordonner mobilités et activités du territoires, traitement des urgences

## Enjeux de la ville de demain pour la mobilité

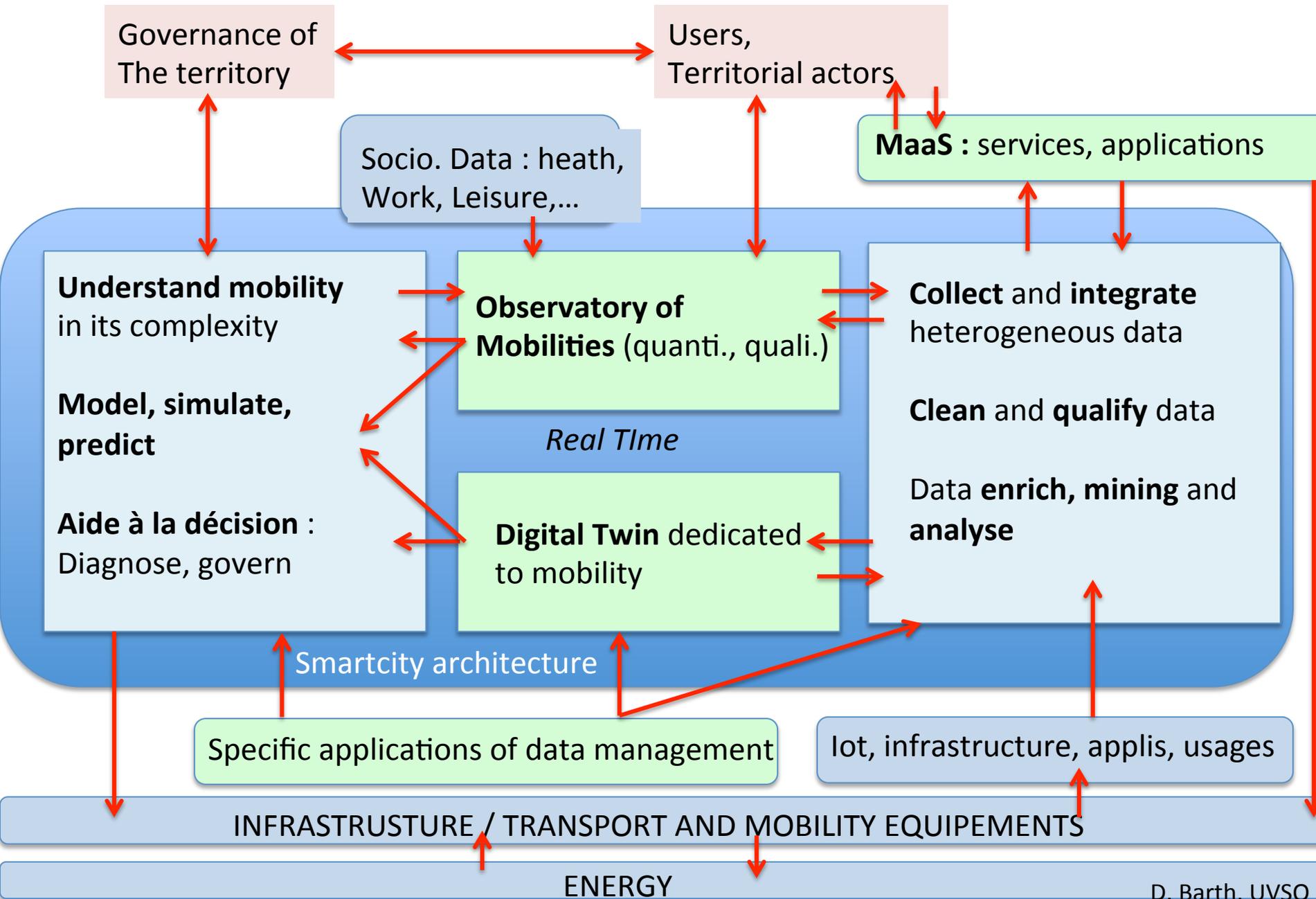
### **1. Comprendre la mobilité urbaine et péri-urbaine**

### **2. Permettre une gouvernance agile**

### **3. Innover, simuler, expérimenter**

- Comprendre, anticiper, inciter les nouveaux usages
- Futurs services de mobilité, intelligence collective
- Moyens de coordonner la mobilité et l'organisation et les activités des territoires
- Prédire et anticiper les évolutions, les nouvelles infrastructures, accompagner les transitions
- Nouvelles pratiques professionnelles (télétravail, temps choisi, tiers lieux,...)

# Mobilités et ville numérique



# Programme en quatre semaines thématiques (septembre 2019)

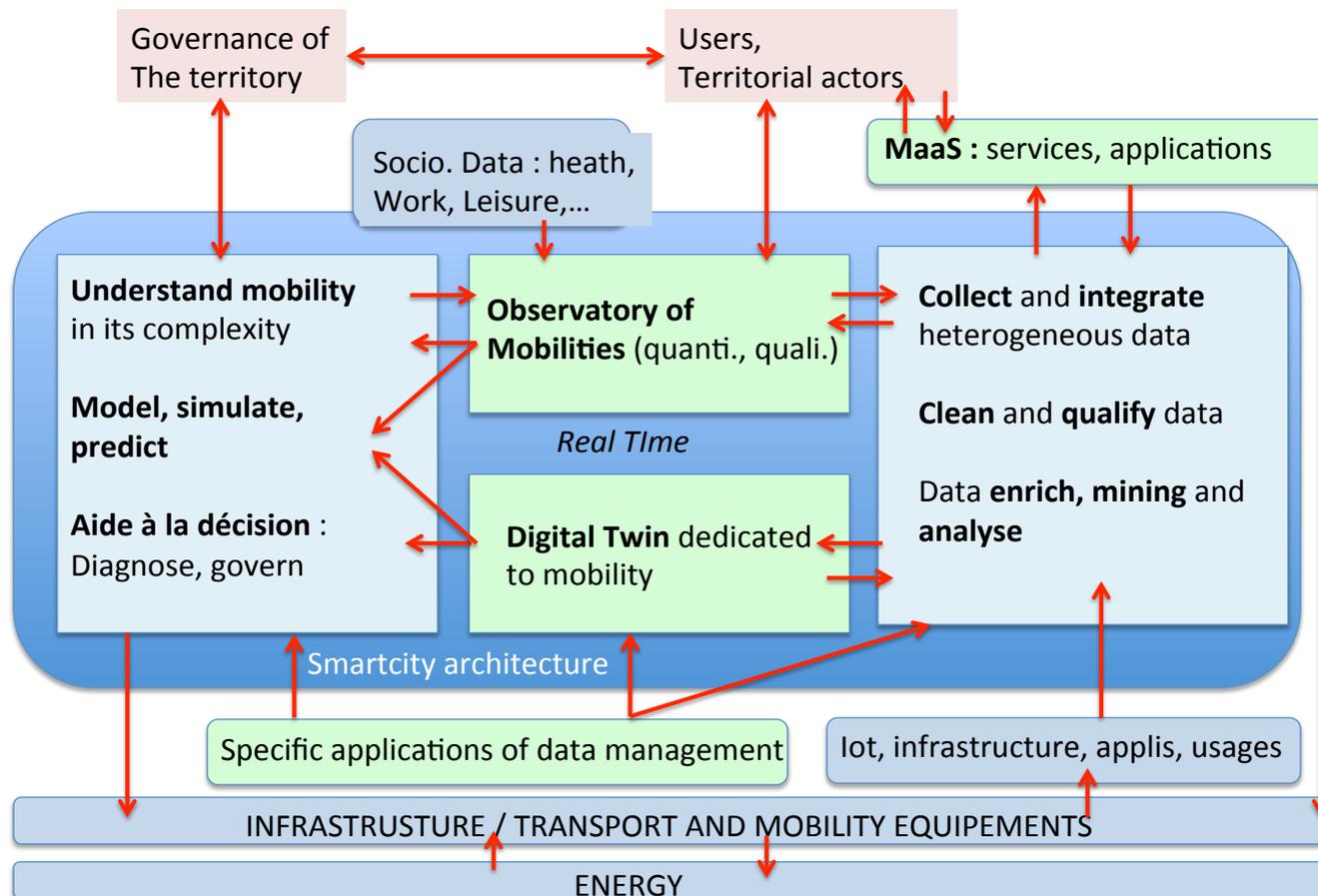
Institut Pascal, Paris-Saclay

**Theme 1: mobility data**

**Theme 2: understanding the mobility (*Observatory*)**

**Theme 3: modeling, analyzing and predicting mobility (*Digital Twin*)**

**Theme 4: rethinking the territory and its mobility (*Movinsaclay*)**



**Porteurs :** Dominique Bartn, Jakob Puchinger, Laurent Willemez

D. Barth, UVSQ

## Understanding and anticipating Usages of mobility

- Impact of chosen/constraint mobility on life quality
- Impact of evolution of working activities on mobility

### Smart city :

## Observatory of mobilities

- inter-disciplinarity (IA/Humanities)
- Quanti./Quali. micro/macro data
- Definition of metrics for life quality
- Data analyses

## Digital Twin

- Infrastructures modeling
- Real time usage data
- Simulation and prediction
- Governance

- IoT, telecommunication
- IA, Bigdata
- Privacy/Safety/Security

## Numeric, data sciences

### Thinking together :

- Conception of autonomous vehicles
- Smartgrids, electrical alimentation
- Infrastructures interoperability

## Equipements and infrastructures

## Quelques travaux de recherche sur la mobilité urbaine au sein de DAVID

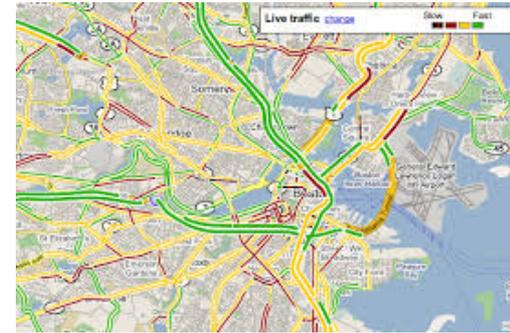
- Distributed vehicular traffic re-routing system for congestion avoidance (*DAVID-PETRUS*)
- Conceptualization & characterization of use cases for autonomous vehicles (*DAVID-ALMOST / IRT SYSTEMX*)
- Mobility trajectory clustering (*DAVID-ADAM*)
- Machine learning for urban parking assistance (*DAVID-ALMOST / Védécom*)

# Distributed Vehicular Traffic Re-routing System for Congestion Avoidance

- **Objective: privacy-preserving mobile participatory sensing**
  - Collect and compute **any spatial aggregate function** from the mobile probe samples moving freely (e.g., pedestrians) or constrained by a transportation network (e.g., cars)
    - E.g., average speed, noise or pollution level, etc.
    - No need to deploy additional sensor infrastructures (e.g., use sensors in smartphones)
  - Send the **aggregation map** to the participants in **real-time**
- **Privacy concerns**
  - The participants' locations are disclosed to untrustworthy entities
  - Location could be used to identify the users and their habits [Scientific reports'2013]
- **Our solution: PAMPAS ([SSDBM'16], David Lab, Inria & NJIT)**
  - Use secure portable hardware devices at the user side
  - Propose efficient privacy-preserving distributed protocols to aggregate users' sample data
- **We can provide the real-time service (i.e., continuously compute the aggregation map) without leaking any personal data**



# Distributed Vehicular Traffic Re-routing System for Congestion Avoidance



## ■ Motivation

- Centralized systems (Waze, Google Maps, INRIX, Navigon...) are prone to privacy and scalability problems

- Privacy conscious users may refuse to share data (i.e., Big Brother effect)
- Difficult to scale for large numbers of vehicles (i.e., compute new routes in real-time)

## ■ Our solution: DIVERT ([TMC'17], David Lab, Inria & NJIT)

- Use a hybrid architecture

- A central server collects traffic from vehicles data (over Internet ) and detects congestion
- Path computation and re-routing decisions are offloaded to vehicles which take collaborative decisions over VANETs

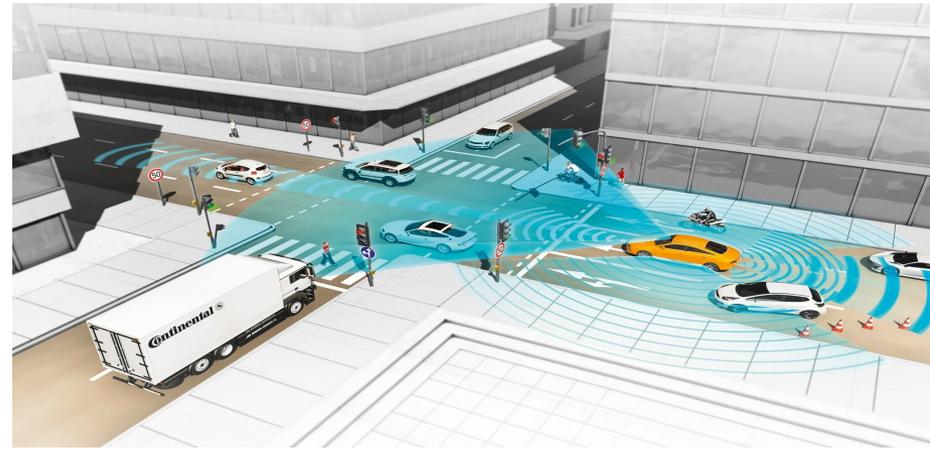
## ■ Solved challenges

- **User privacy protection:** protect user identity and location traces from the server using privacy-aware traffic location updates
- **Traffic re-routing effectiveness:** similar with a centralized solution and achieved through optimized data dissemination techniques in VANETs

# Conceptualization & Characterization of use cases for Autonomous Vehicles

## Autonomous Vehicles (AV) must evolve in

- ✓ Unpredictable environment
- ✓ Dynamic context
- ✓ Strong interactions



## Safety of AV requires to

- Validate all decisions made by AV in all the situations
- Identify all possible use cases (scenarios) covering all situations

**Question** : How to generate automatically these use cases ?

# Conceptualization & Characterization of use cases for Autonomous Vehicles

**Objective** : develop a complete approach

- Conceptualization and characterization of use cases
  - ❖ Identify the key concepts and possible relationships between the elements involved in the different execution contexts
  - ❖ Define the terms designating these concepts and relationships without ambiguity
- ➔ *A formal, explicit, and shared conceptualization : ontology*
- Formal modeling of use cases
- Automatic generation of use cases
- Classification of these contexts in terms of impact on the performances and safety of AV

# Trajectory Clustering: NetSCAN Algorithm

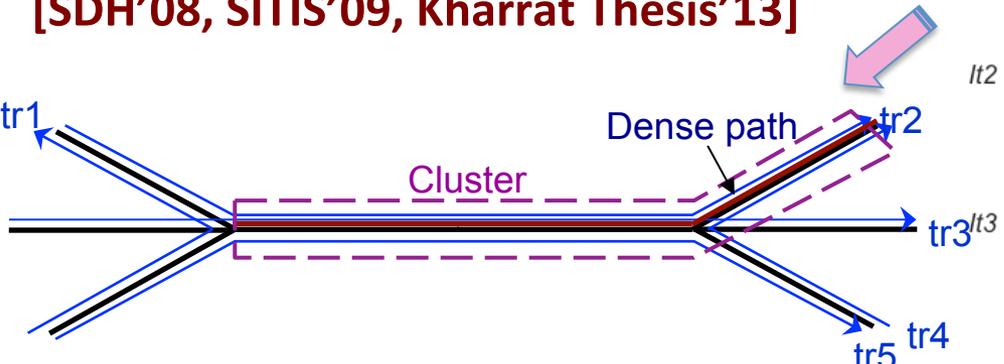
**Objective:** Identifying **groups sharing similar routes** from a trajectory DB

➤ **Applications:** Transportation planning, Mobility analysis, ...

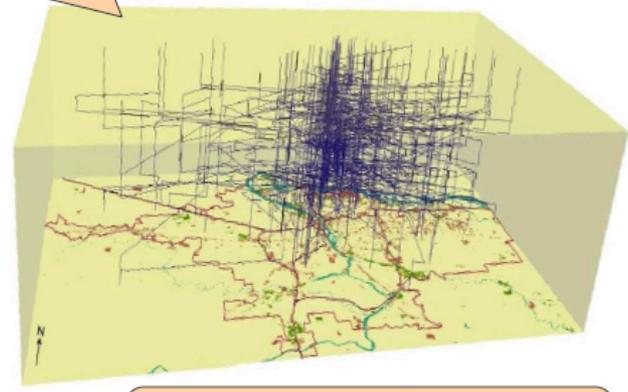
**Proposal:** **NetSCAN**, a sub-trajectory clustering algorithm based on an underlying network topology:

1. Computes a transition matrices weighted by the trajectory number.
2. Identifies the dense paths starting from the most traversed transitions
3. Groups the sub-trajectories by similarity to these paths.
4. Repeat the process for every time intervals (if interested in spatio-temporal clusters)

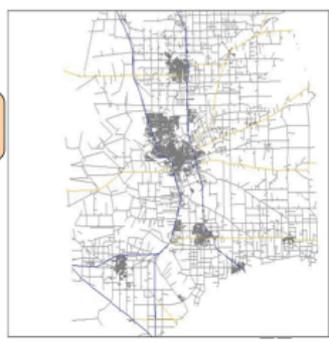
[SDH'08, SITIS'09, Kharrat Thesis'13]



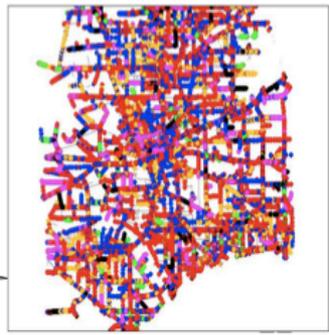
Spatiotemporal trajectories



Network

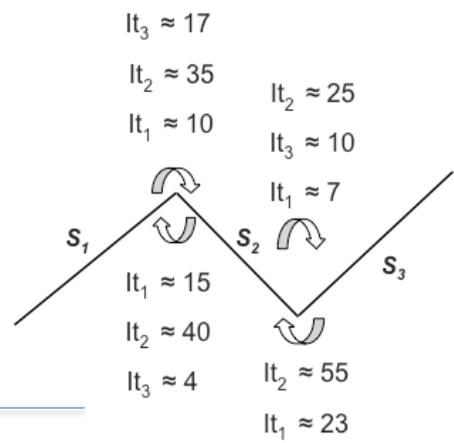
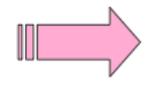


Simulated trajectories  
Brinkhoff generator

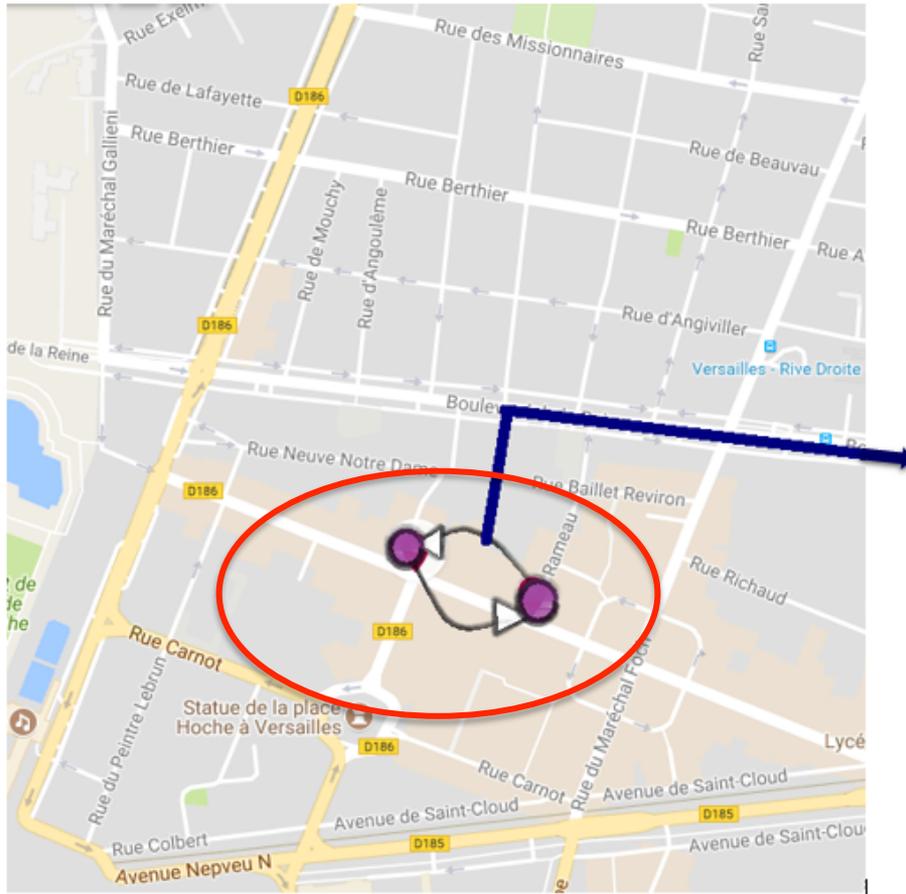


Collecting Statistics - transition matrices

$\rho$	S1	S2	S3
$It_1$	$S_1 \begin{bmatrix} 0 & 10 & 0 \end{bmatrix}$	$S_2 \begin{bmatrix} 15 & 0 & 7 \end{bmatrix}$	$S_3 \begin{bmatrix} 0 & 23 & 0 \end{bmatrix}$
$It_2$	$S_1 \begin{bmatrix} 0 & 35 & 0 \end{bmatrix}$	$S_2 \begin{bmatrix} 40 & 0 & 25 \end{bmatrix}$	$S_3 \begin{bmatrix} 0 & 55 & 0 \end{bmatrix}$
	$S_1 \begin{bmatrix} 0 & 17 & 0 \end{bmatrix}$	$S_2 \begin{bmatrix} 4 & 0 & 10 \end{bmatrix}$	$S_3 \begin{bmatrix} 0 & 14 & 0 \end{bmatrix}$



# Machine learning for urban parking assistance



Principes :

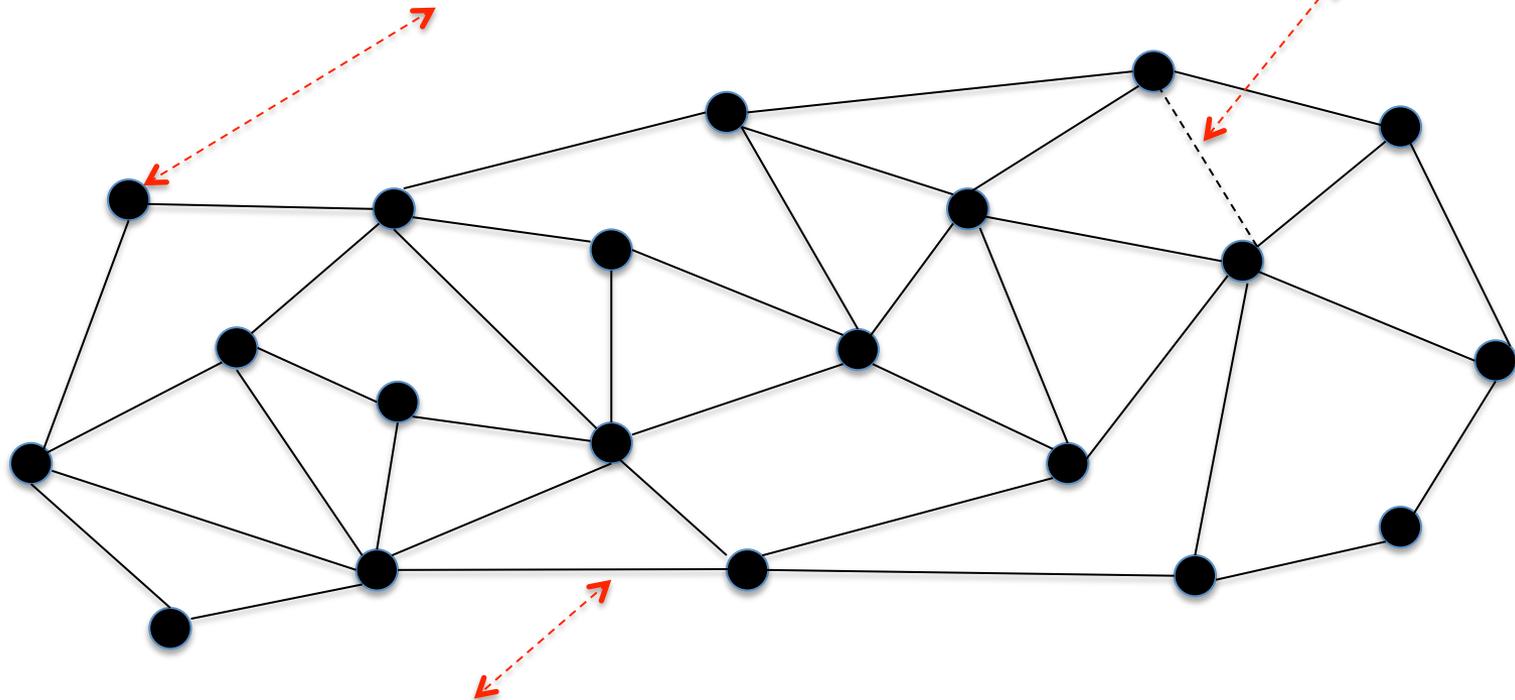
- **Trajet comme une ressource :**  
déterminer un itinéraire de déplacement dans une zone de stationnement maximisant l'espérance de temps de trouver une place.
- **Granularité des ressources :**  
Chaque (portion de) rue vues comme une capacité dynamique de stationnement.
- **Granularité temporelle :**  
Capacité de chaque rue par période de temps homogène

# Modélisation de la zone routière urbaine

## Intersection/carrefour

- Temps de traversée moyen pour tout couple entrée/sortie

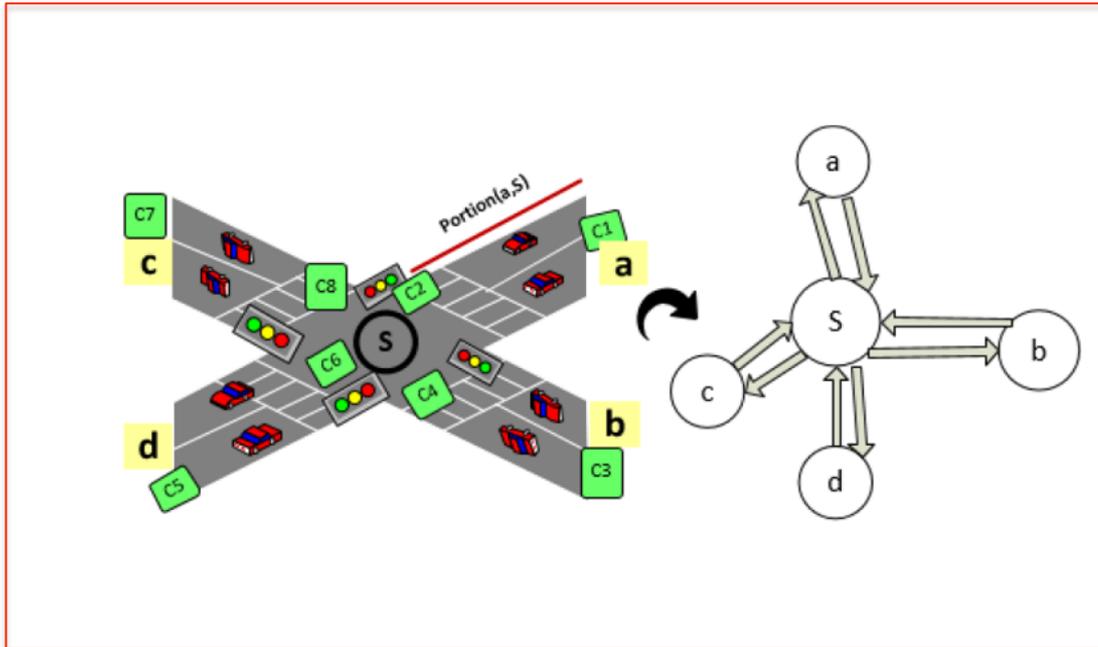
## Rues piétonnes - distance



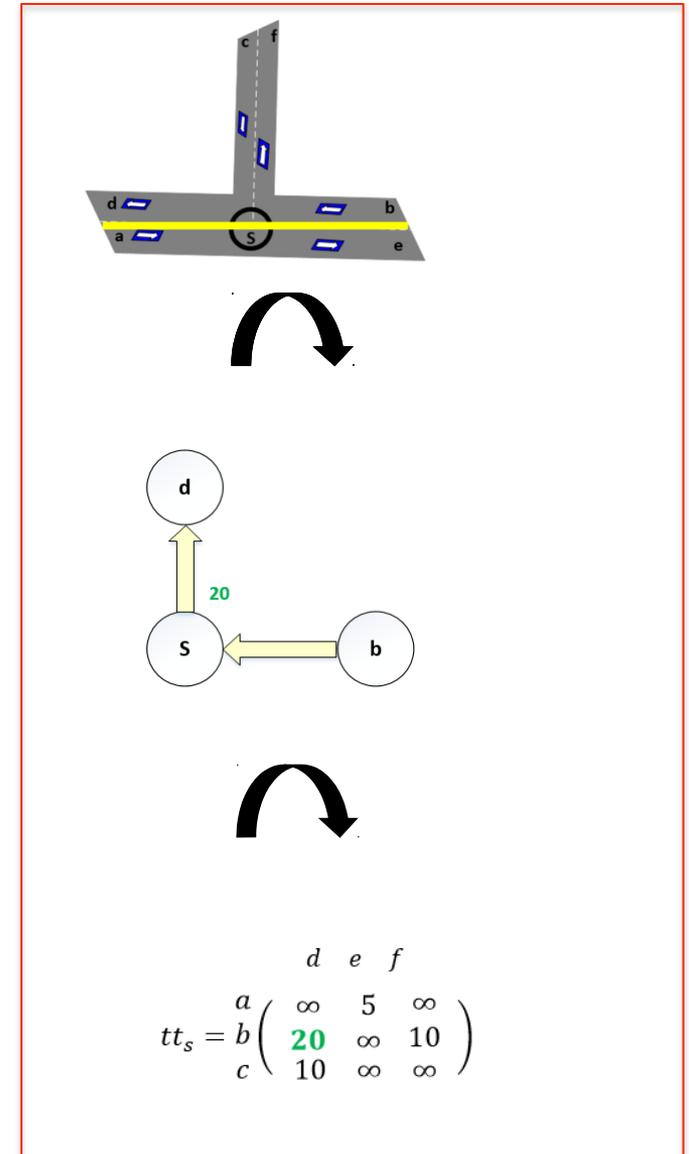
Lien mono/bidirectionnel = **Portion de rue sans intersection**

- Longueur (stat.)
- Vitesse limite (stat.)
- Nombre de places de stationnement (stat)
- Congestion (dyn.)
- Probabilité de places disponibles (dyn.)

# Modélisation de la zone routière urbaine

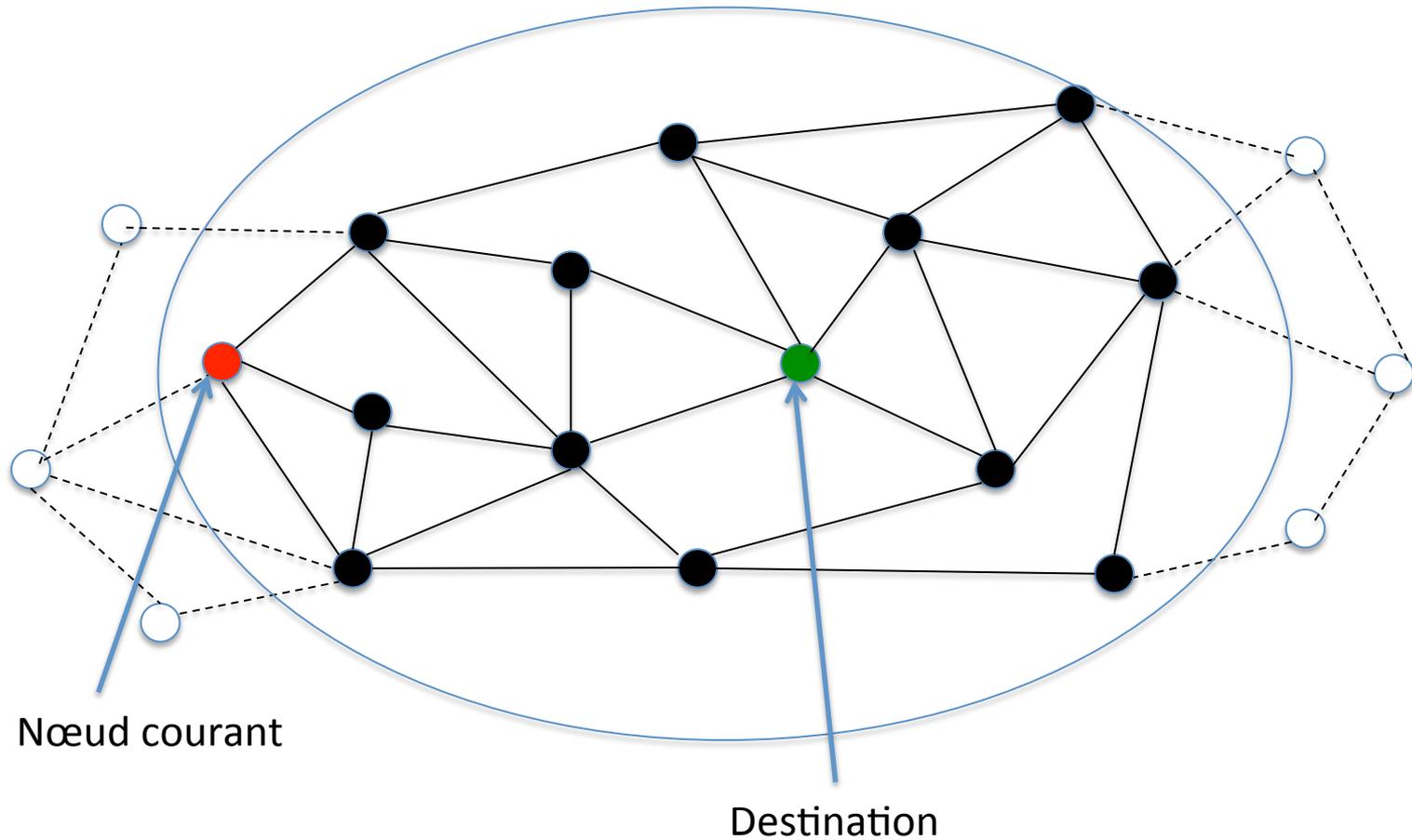


Modélisation des temps/possibilité de transition  
 Au niveau des carrefours

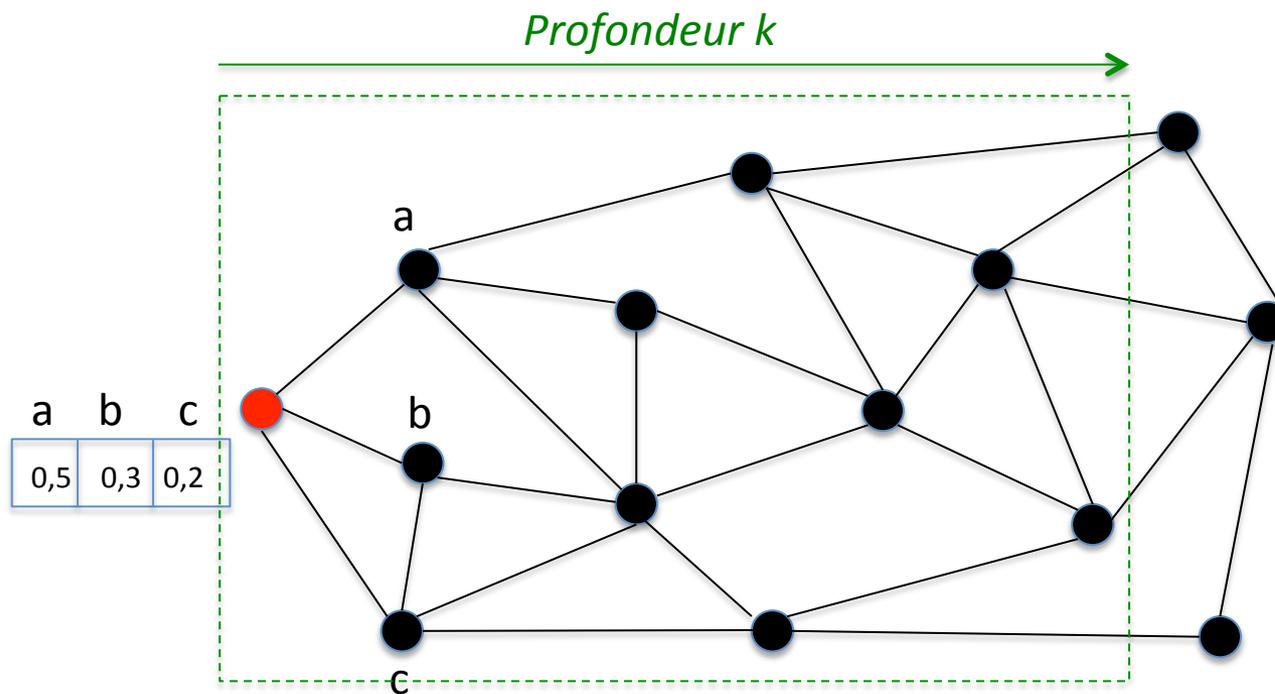


# Requête et orbite de stationnement

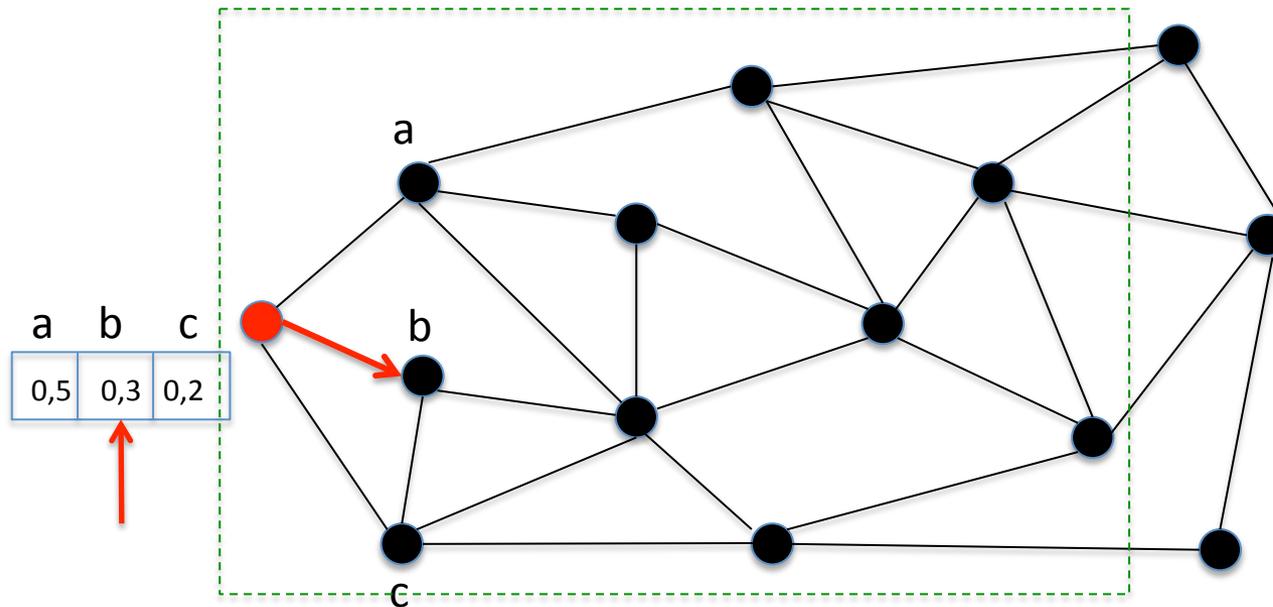
Orbite de stationnement (*distance à pied de la destination*)



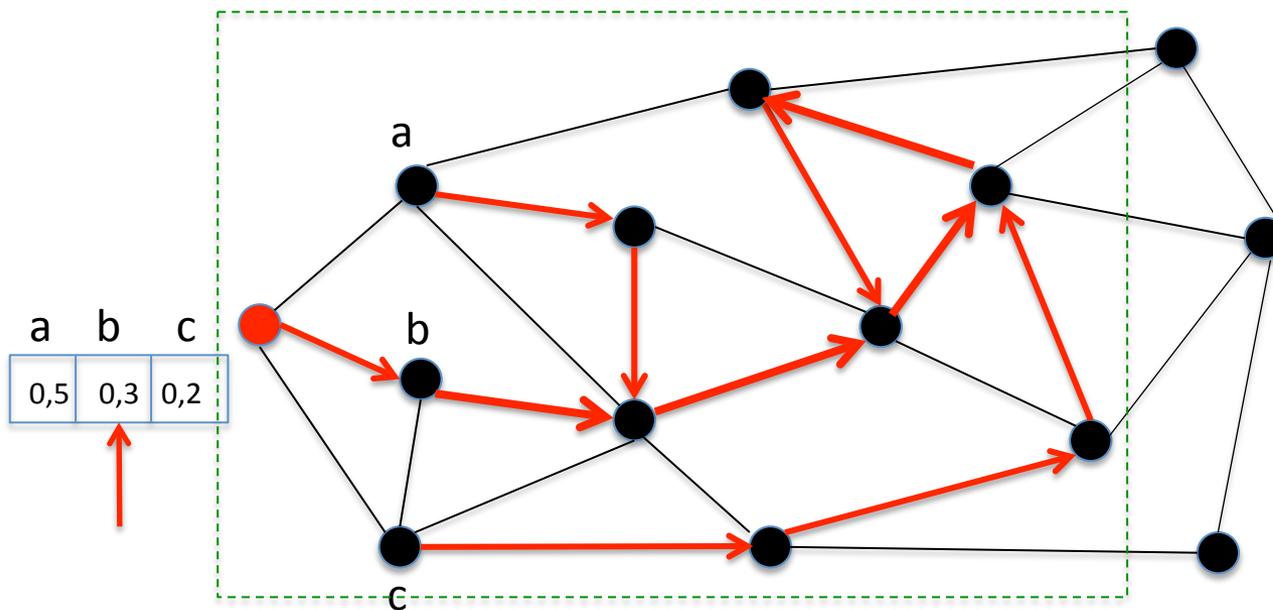
# Machine learning pour la recherche d'itinéraire



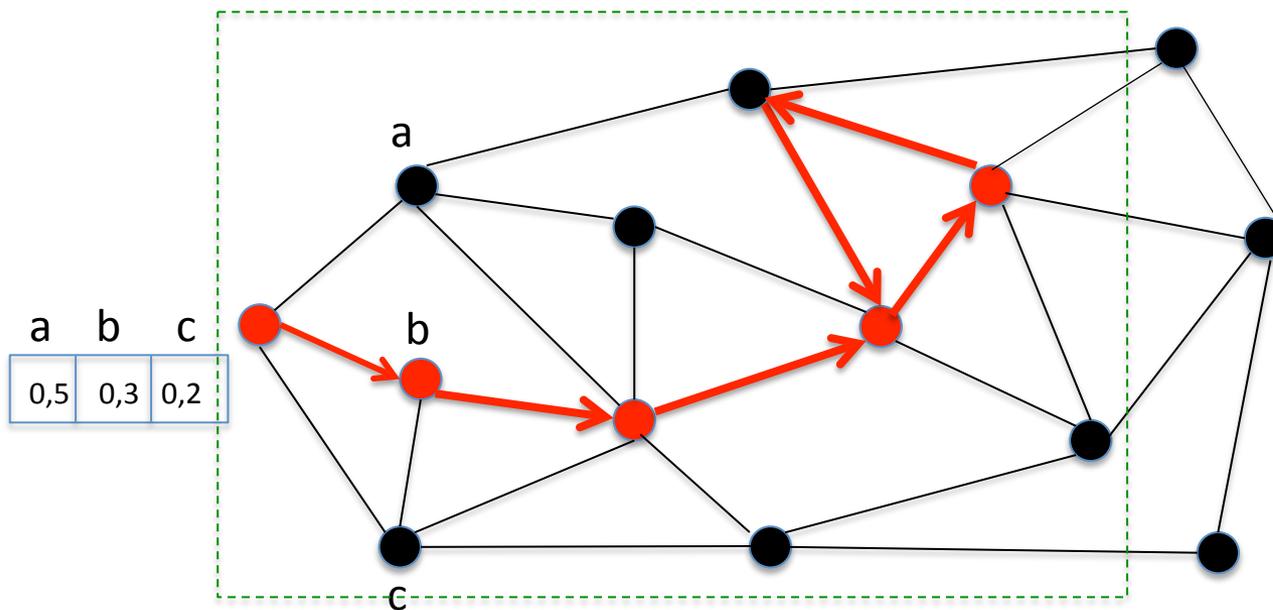
# Machine learning pour la recherche d'itinéraire



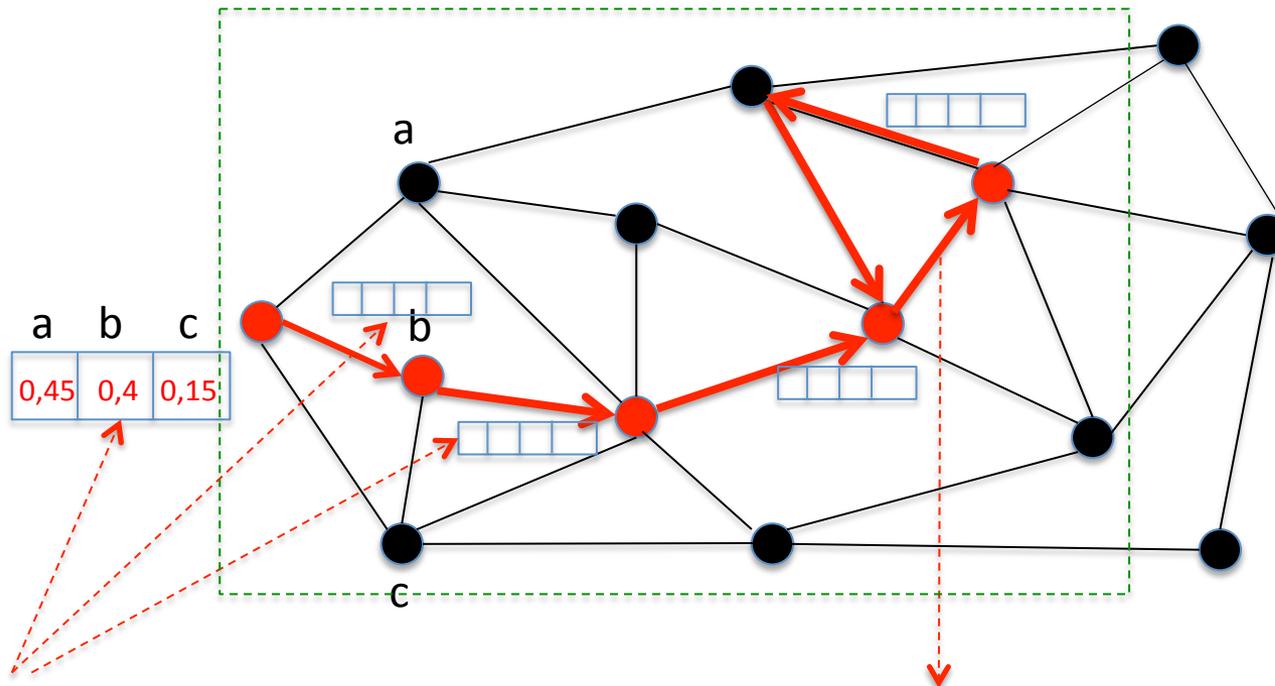
# Machine learning pour la recherche d'itinéraire



# Machine learning pour la recherche d'itinéraire



# Machine learning pour la recherche d'itinéraire

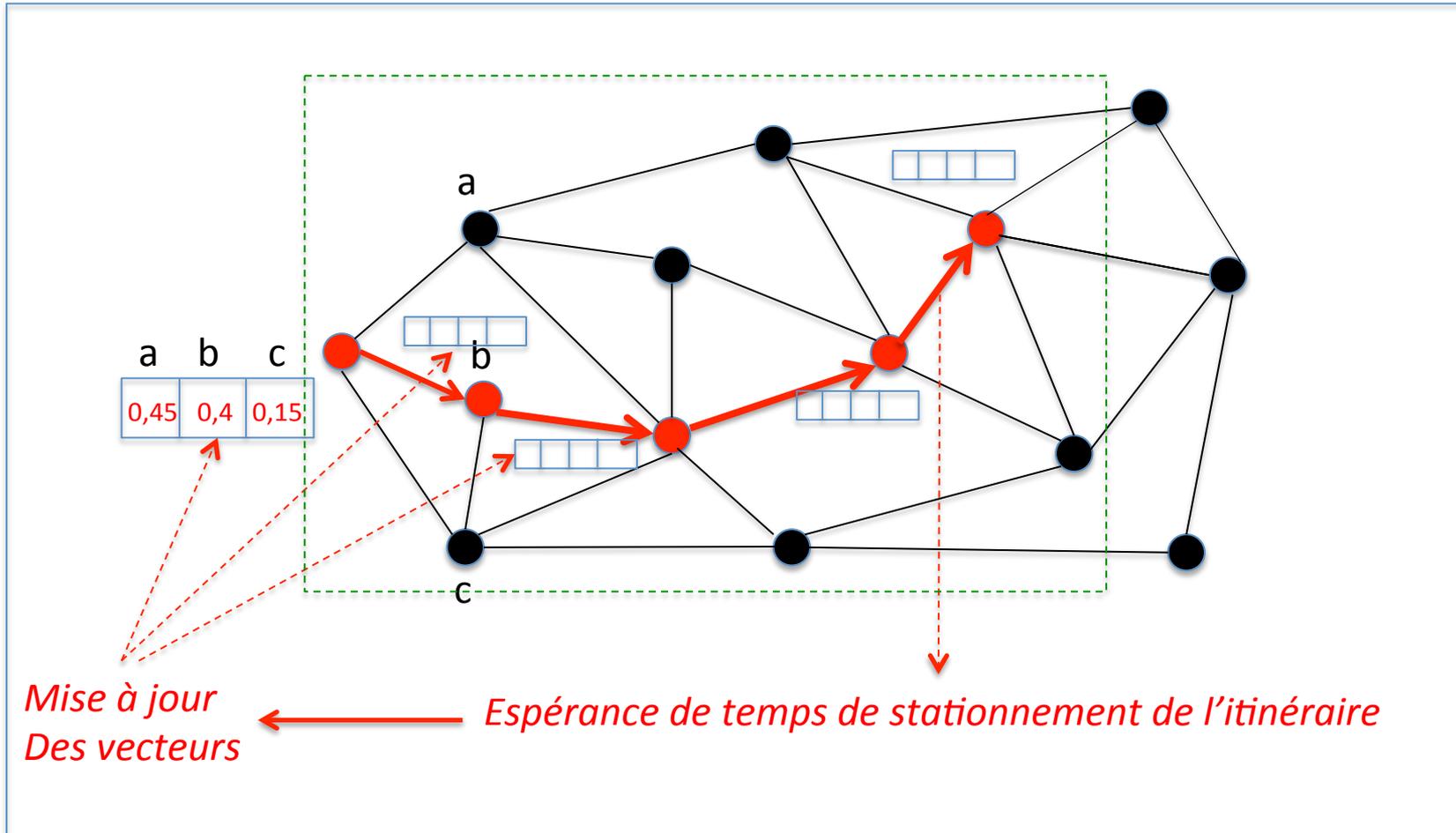


Mise à jour  
Des vecteurs

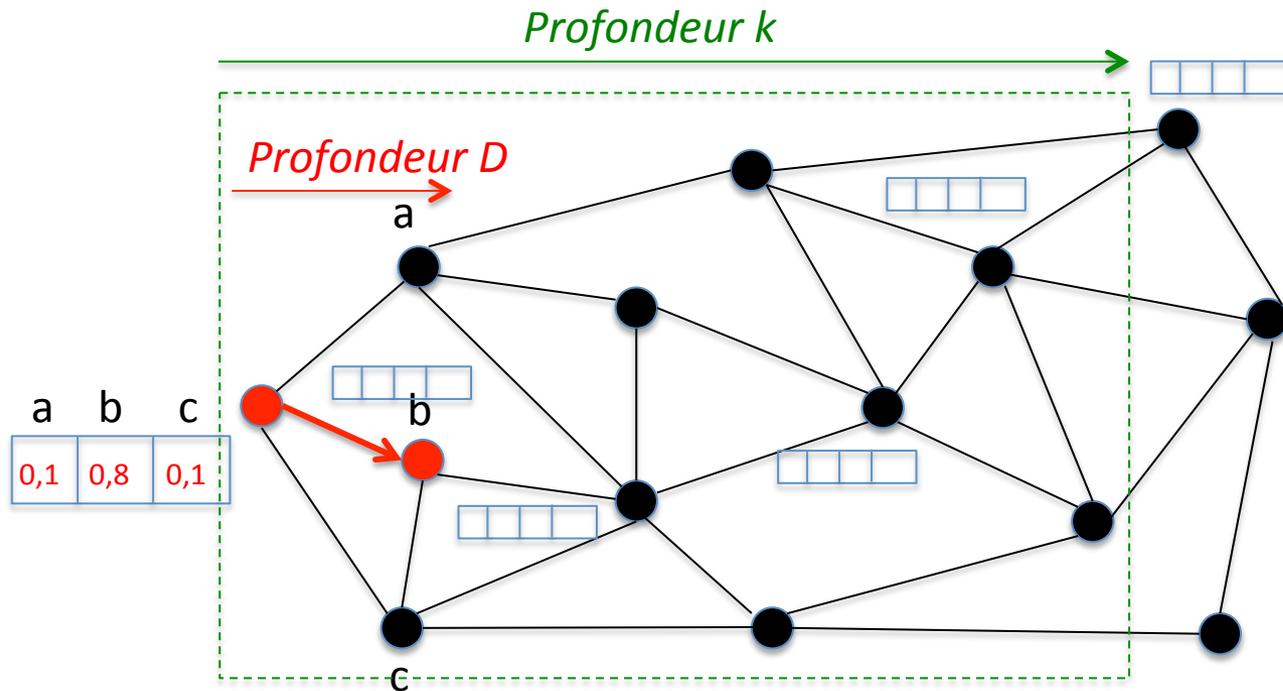
← Espérance de temps de stationnement de l'itinéraire

# Machine learning pour la recherche d'itinéraire

Itération du jeu jusqu'à stabilité

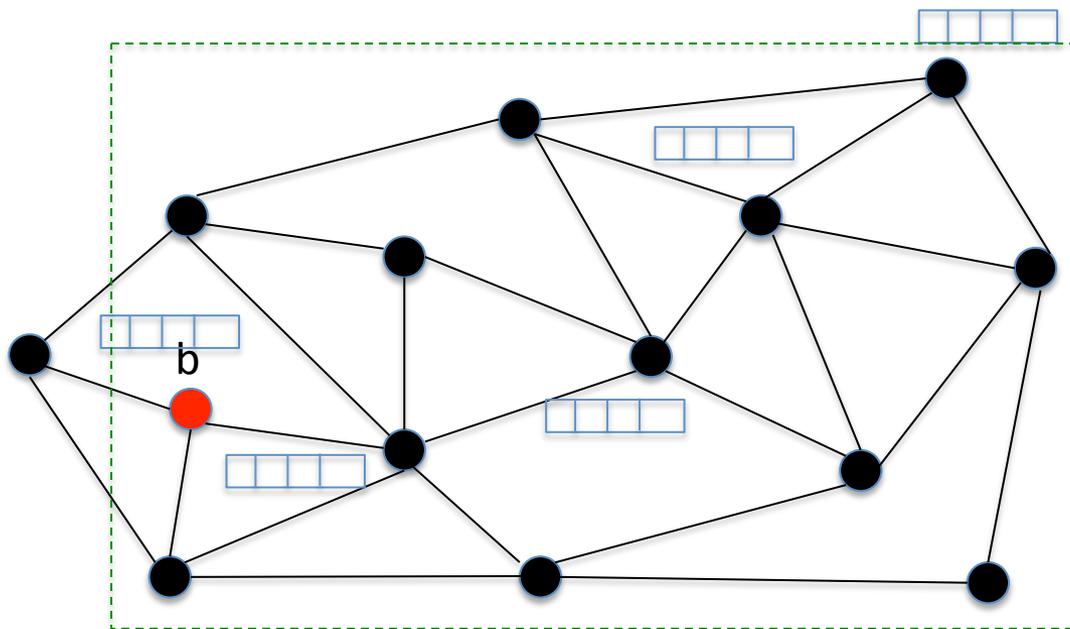


# Machine learning pour la recherche d'itinéraire



Choix du futur sommet courant (ou des futurs  $D$  sommets courants)

# Machine learning pour la recherche d'itinéraire

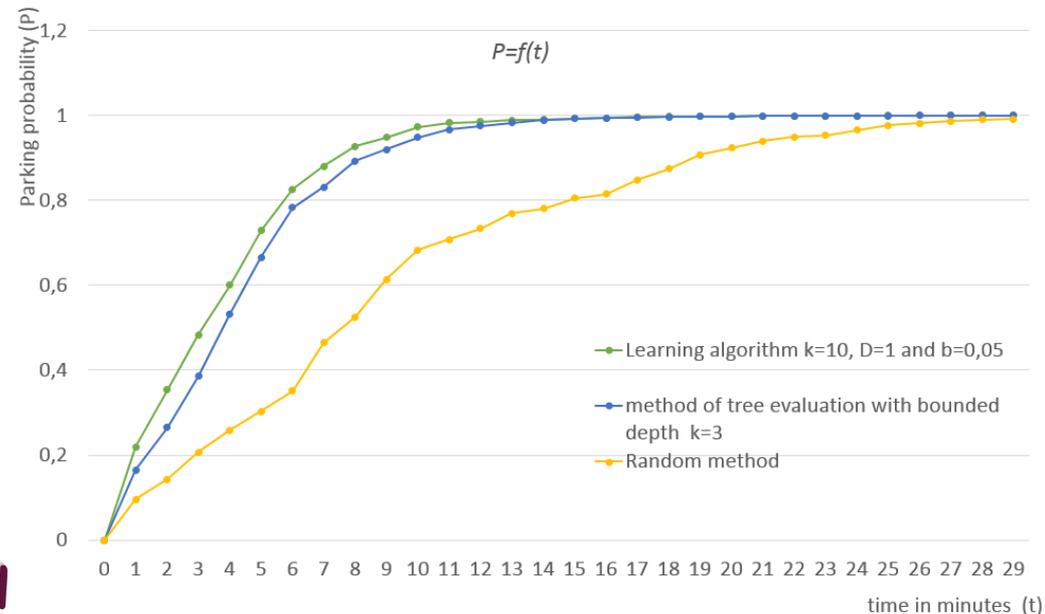
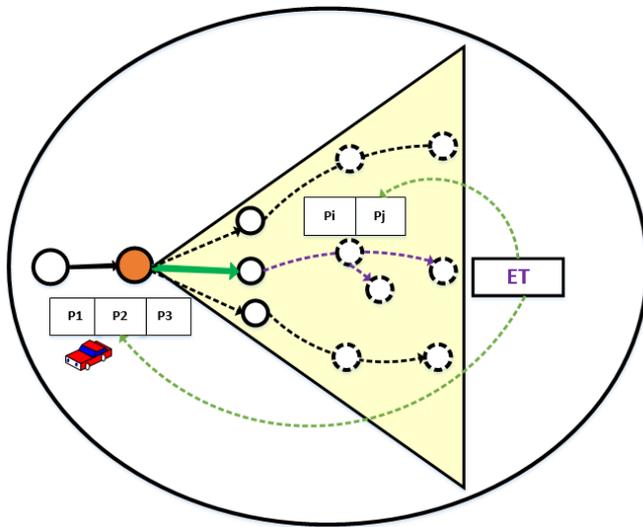


Définition d'une nouvelle zone de recherche

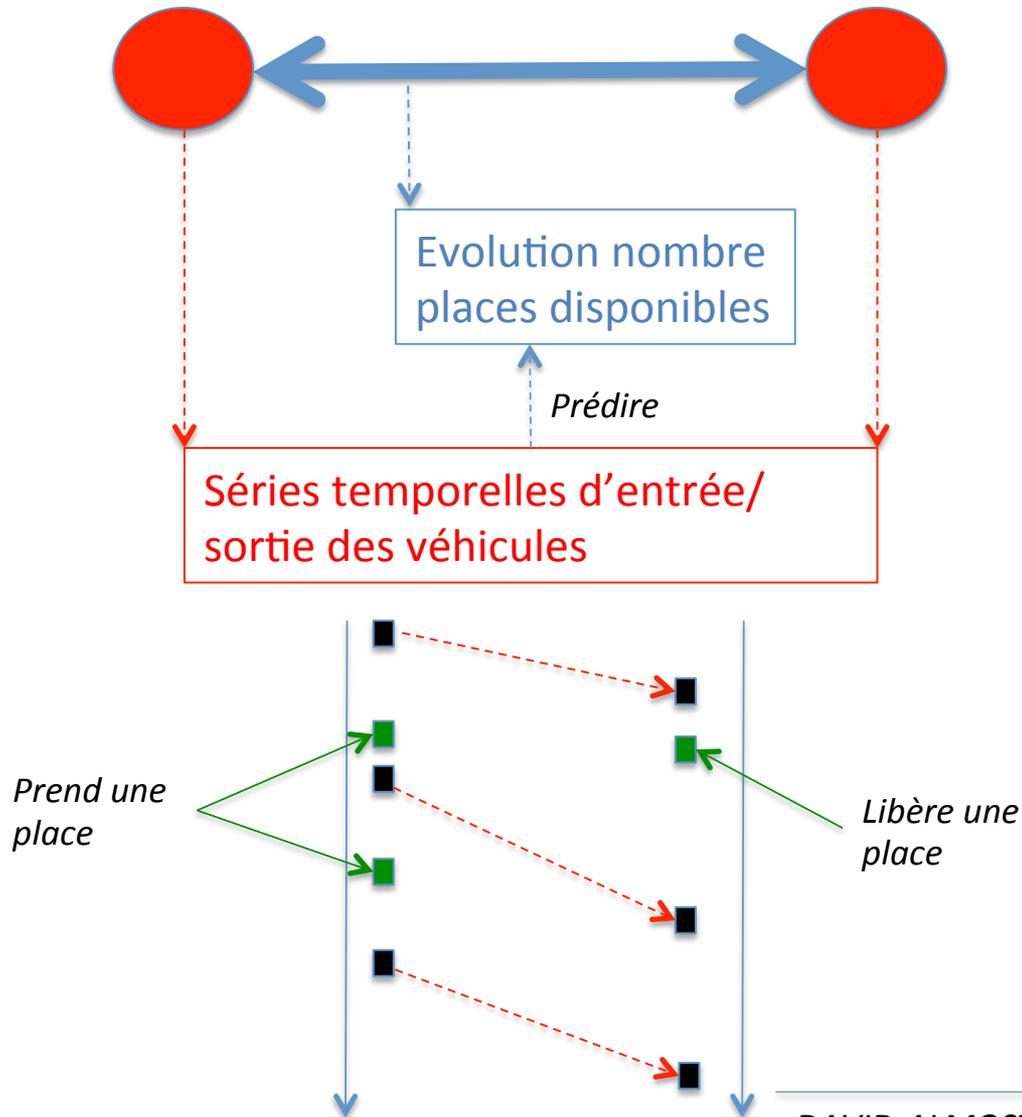
# Machine learning for urban parking assistance

## Distributed reinforcement learning approach :

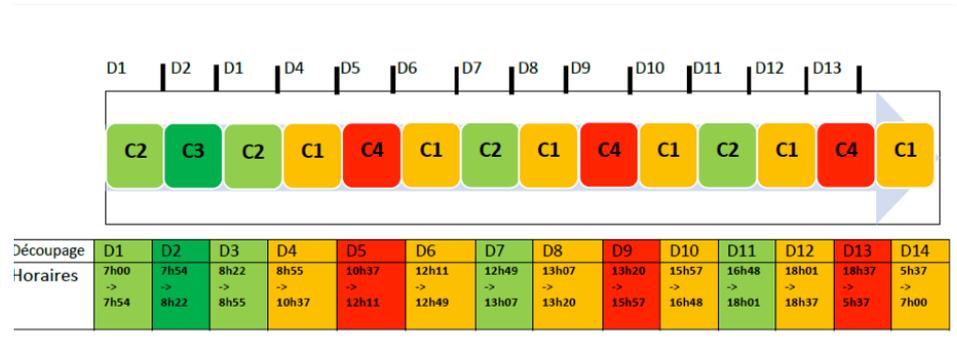
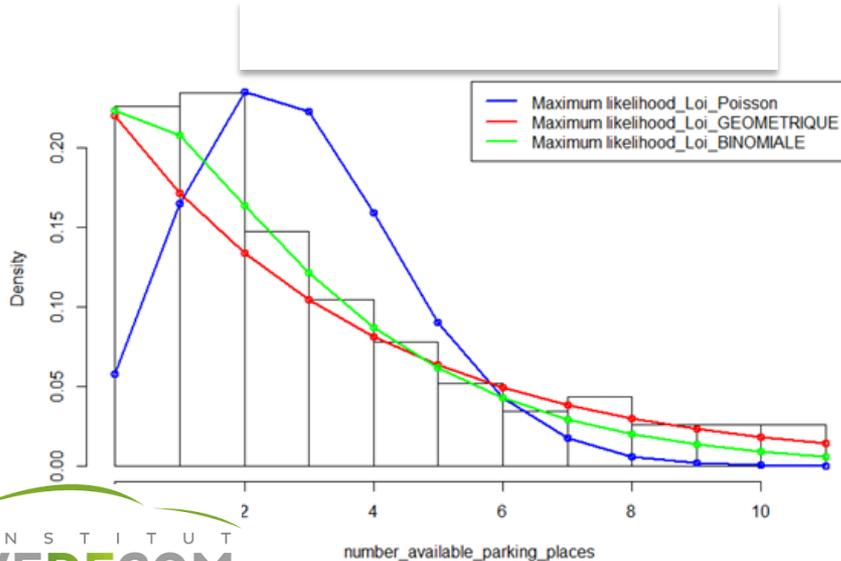
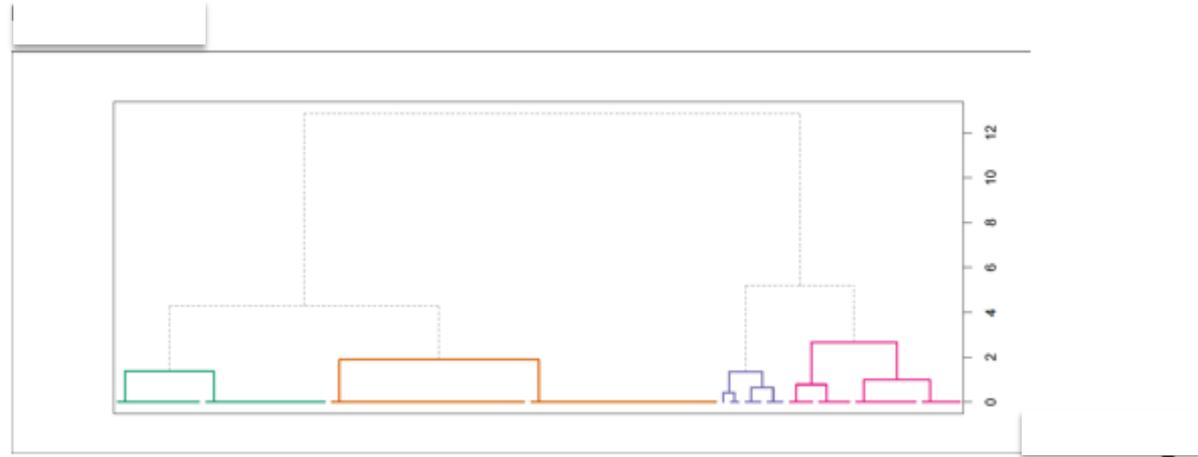
- each crossroad in the zone learns the next best street choice, and all the choices form a itinerary.
- The final itinerary is constructed step by step by iterating the learning process
- Each crossroad learns from all the previous learning process.



# Calcul de probabilités de places libres/rue



# Calcul de probabilités de places libres/rue



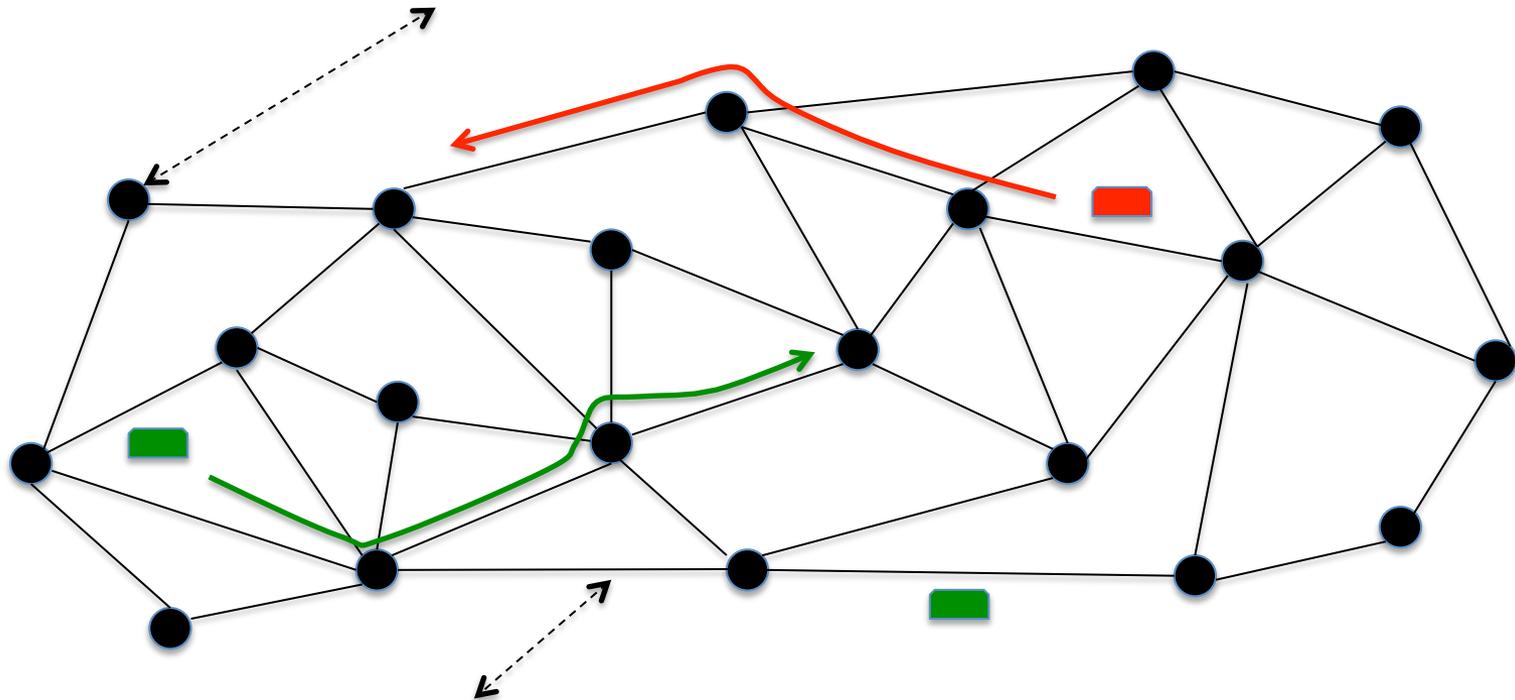
# Gestion optimisée et temps réel d'une flotte de taxis autonomes

## Intersection/carrefour

- Temps de traversée moyen pour tout couple entrée/sortie

## Disponibilité de systèmes de recharge

- Temps de traversée moyen pour tout couple entrée/sortie



Lien mono/bidirectionnel = **Portion de rue sans intersection**

- Longueur (stat.)
- Vitesse limite (stat.)
- Nombre de places de stationnement (stat)
- Congestion (dyn.)
- Probabilité de places disponibles (dyn.)

## *En résumé ....*

- Nécessité d'une approche systémique et interdisciplinaire de la mobilité urbaine
- Laboratoire DAVID et Fédération SIHS ouverts à des partenariats
- Penser la mobilité non seulement d'un point de vue technologique mais aussi Sociétal : interdisciplinarité STIC/SHS
- Ecosystème de Paris-Saclay