Smart environments:

La mobilité intelligente

Maxime Guériau
Romain Billot
Nour-Eddin El Faouzi
13 décembre 2016

UNIVERSITÉ DE LYON
ENTPE
IFSTTAR

Objectif du cours

1. Vous sensibiliser à la gestion du trafic et aux nouveaux enjeux de la mobilité,

2. Illustrer comment les mathématiques appliquées et l'informatique sont au cœur de problèmes concrets,

3. Vous donner une meilleure idée de quelques thèmes de recherche en trafic routier.

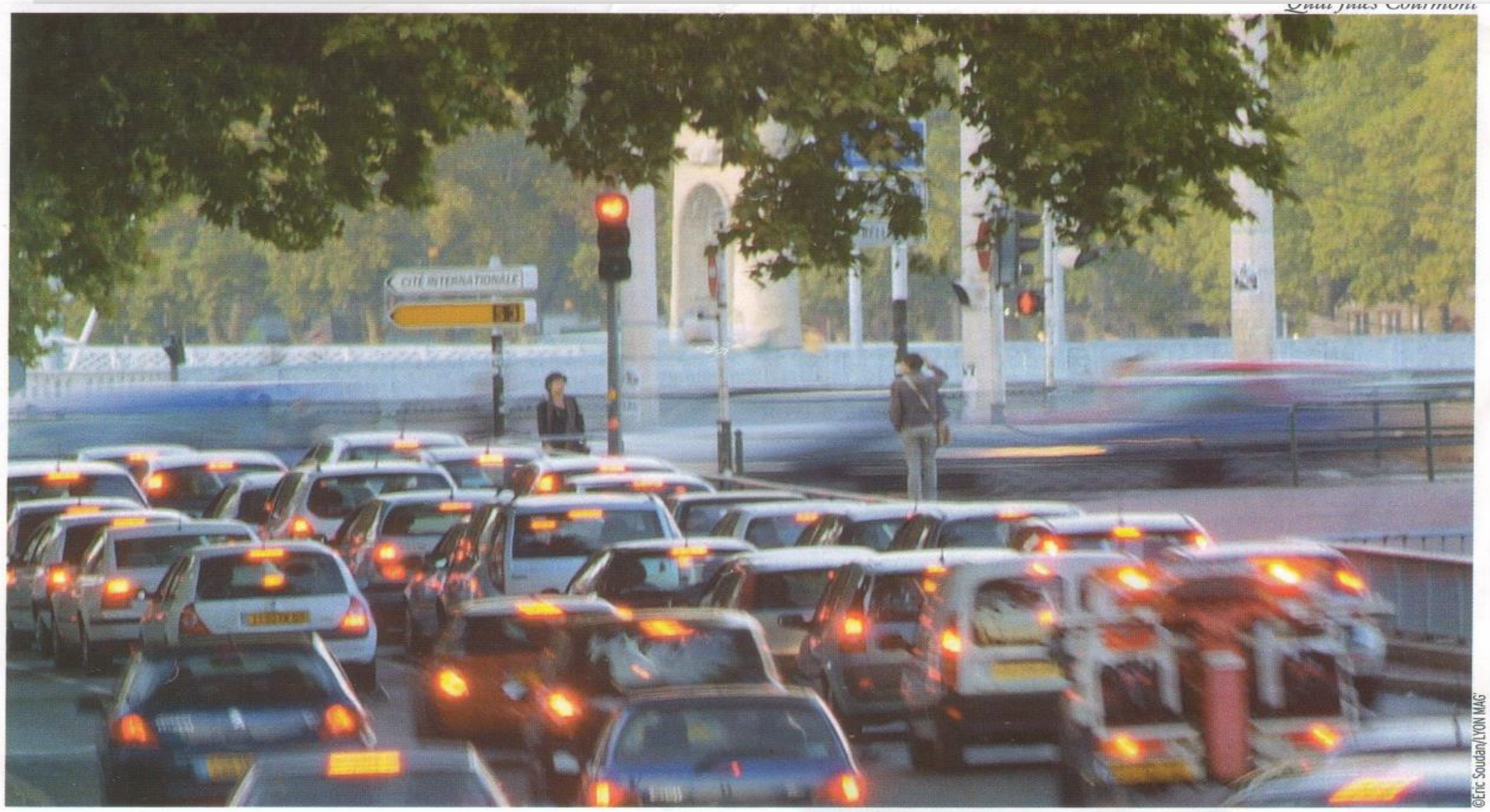
Contenu de la séance

I. Contexte et enjeux :
   1. Les problèmes de congestion,
   2. Vers une mobilité durable et intelligente.

II. Réponses aux nouveaux besoins de la mobilité :
   1. Les systèmes de transport intelligents (ITS),
   2. Nouvelles stratégies opérationnelles.

III. Applications : quelques problèmes d'aide à la décision
   1. Des nouvelles sources de données pour la gestion du trafic,
   2. Information temps réel et multimodale,
   3. Electromobilité,
   4. Tarification intelligente,
   5. Les systèmes coopératifs.

I. Contexte et enjeux



Contexte

- Le développement économique en Europe dépend d'un système de transport efficace,
- Le secteur des transports contribue à 7% du PIB européen,
- Cependant, le système de transport est encore inefficace :
  - Les coûts annuels de la congestion peuvent aller jusqu'à 1,5% du PIB de l'UE
  - Objectif : rendre plus efficace 50% du réseau routier de transport à l'horizon 2030
  - Efficacité = décarbonisation, fiabilité et sécurité
- Les TIC / ITS jouent un rôle clé dans la réalisation de cet objectif.

Europe

Tor

Rank	CI change	City	Country	Congestion	Morning peak	Evening peak	Highways	Non-Highways
1	▲	Moscow	Russia	66%	106%	138%	62%	68%
2	▲	Istanbul	Turkey	55%	80%	125%	58%	51%
3	▼	Warsaw	Poland	42%	84%	88%	39%	46%
4	▲	Marseille	France	40%	77%	77%	24%	50%
5	▼	Palermo	Italy	39%	64%	64%	27%	49%
6	▲	Stuttgart	Germany	33%	59%	67%	32%	34%
7	---	Paris	France	33%	70%	65%	32%	34%
8	▼	Rome	Italy	33%	76%	63%	25%	37%
9	▼	Hamburg	Germany	32%	49%	55%	27%	36%
10	▼	Brussels	Belgium	32%	75%	81%	26%	37%
11	▼	Dublin	Ireland	29%	62%	62%	22%	39%
12	▼	Stockholm	Sweden	28%	62%	70%	25%	32%
13	---	Berlin	Germany	28%	42%	50%	24%	32%
14	▼	London	United Kingdom	27%	56%	55%	14%	36%
15	---	Nice	France	27%	41%	54%	15%	34%
16	▼	Cologne	Germany	26%	49%	54%	24%	32%
17	---	Lyon	France	26%	58%	56%	21%	34%
18	▲	Leeds-Bradford	United Kingdom	26%	54%	59%	22%	31%
19	▼	Vienna	Austria	25%	43%	50%	17%	32%
20	▼	Milan	Italy	25%	70%	55%	20%	29%
21	▲	Toulouse	France	25%	76%	56%	20%	32%
22	▼	Naples	Italy	25%	40%	45%	13%	37%
23	▲	Luxembourg	Luxembourg	25%	52%	59%	16%	37%
24	▲	Nottingham	United Kingdom	24%	59%	52%	6%	32%
25	▼	Budapest	Hungary	24%	46%	45%	6%	33%
26	▼	Manchester	United Kingdom	24%	62%	59%	16%	33%
27	▲	Munich	Germany	24%	49%	42%	18%	33%
28	▼	Prague	Czech Republic	23%	52%	40%	18%	29%
29	▼	Oslo	Norway	23%	61%	75%	19%	30%
30	▼	Strasbourg	France	23%	41%	64%	18%	30%

The methodology that is used in this report compares travel times* during non-congested periods (free flow*) with travel times* in peak hours*. The difference is expressed as a percentage increase in travel time*. We take into account local roads, arterials and highways. All data is based on actual GPS based measurements and for each city* the sample size is expressed in total number of measured kilometres for the period.

Chez nos géants voisins…

Gestion intelligente de la demande

- La demande de mobilité ne cesse de croître, et cela plus rapidement que la croissance démographique
  - Il n’a jamais été aussi simple de se déplacer : voyages facilités, ordonnés et à bas coût ….
- La congestion est en constante augmentation
- Les contraintes financières sont une réalité
- Nécessité de faire converger l'offre et la demande

Gestion de la mobilité pour une meilleure efficacité du système de transport

Evolution de la mobilité et nouveaux besoins

- Hier : "Ere utilisateur"
  - Transport / Transfert
  - Centrée sur l'utilisateur

- Aujourd'hui : "Ere individuelle"
  - Personnalisation / optimisation
  - Individu-Centrée

- Demain : "Ere communautaire”
  - Synchronisation avec le monde
  - Communauté-centrée

UNIVERSITÉ DE LYON

ENTPE

Tendances structurelles

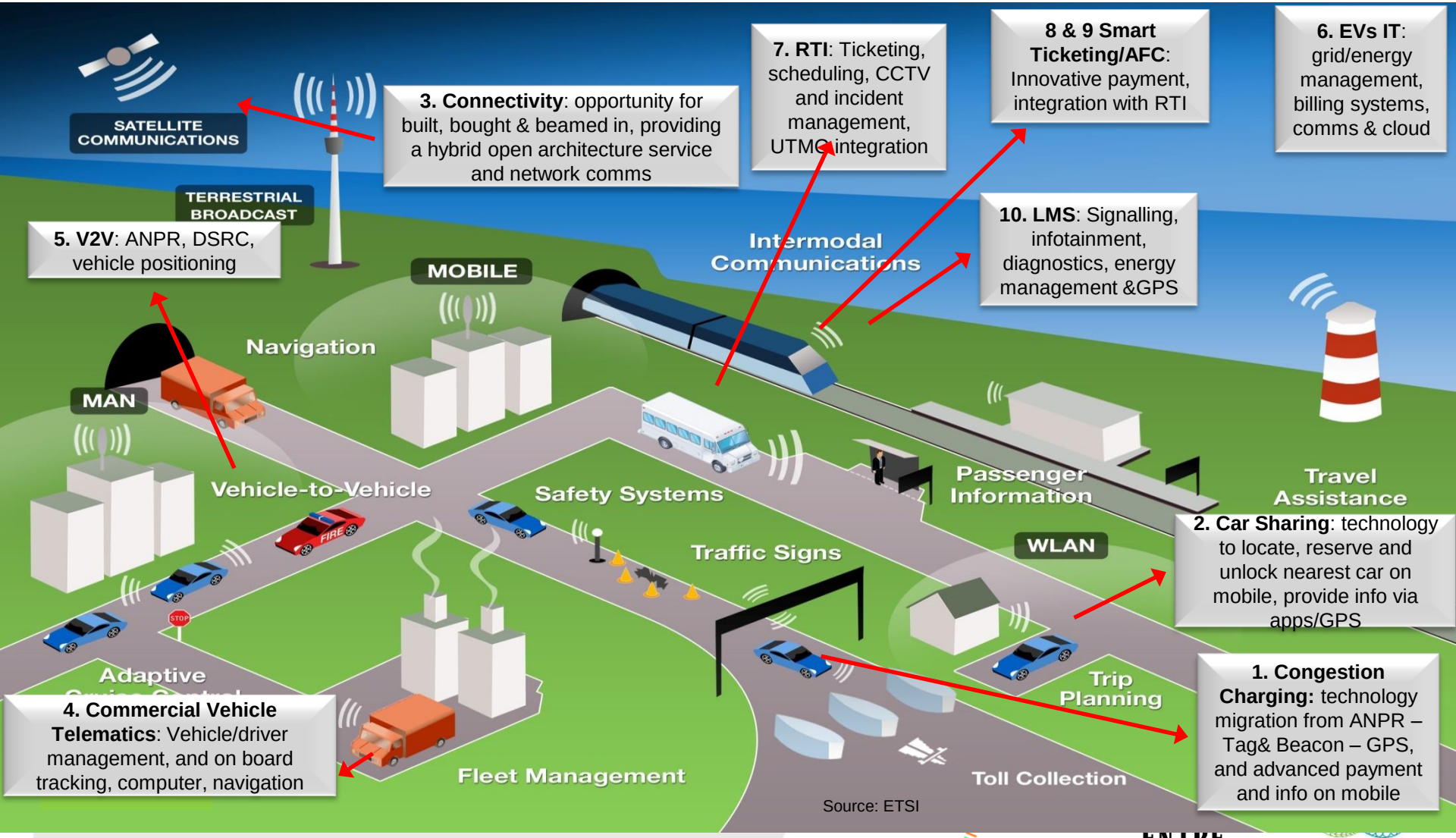
1. Demande de mobilité de plus en plus forte,
2. Prise en compte des objectifs sociétaux (durabilité etc.),
3. Déploiement des systèmes sur des zones de plus en plus larges,
4. Vision multimodale des déplacements,
5. Innovations technologiques (ex : systèmes coopératifs),
6. Gestion proactive des variations de trafic (au lieu de capacité),
7. Vers un contrôle hybride voire décentralisé,
8. Besoin d'une optimisation multicritères (débit, sécurité, émissions).

II. Les réponses aux nouveaux besoins de la mobilité

1. Les systèmes de transport intelligents
2. Les stratégies opérationnelles

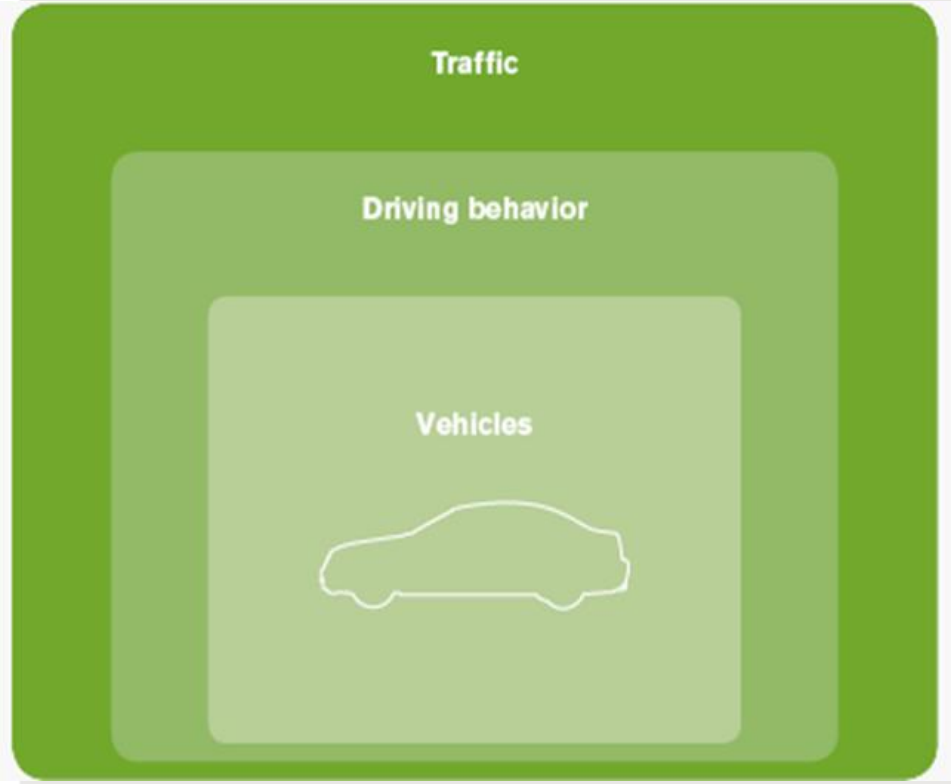
Que sont les ITS ?

- Un terme générique pour une gamme de technologies, y compris le traitement, le contrôle, la communication et l'électronique, appliquées aux transports.
- Cela comporte :
  - la collecte de données multisources et traitement temps réel
    - Détecteurs fixes
    - Traceurs: FCD, MCD, ETC,
  - Les techniques avancées de gestion du trafic routier
    - Système avancé de gestion de la circulation (ATMS)
    - Systèmes urbains de gestion du trafic (UMTS)


SATELLITE COMMUNICATIONS
TERRESTRIAL BROADCAST
3. Connectivity: opportunity for built, bought & beamed in, providing a hybrid open architecture service and network comms
7. RTI: Ticketing, scheduling, CCTV and incident management, UTMC integration
8 & 9 Smart Ticketing/AFC: Innovative payment, integration with RTI
6. EVs IT: grid/energy management, billing systems, comms & cloud
5. V2V: ANPR, DSRC, vehicle positioning
10. LMS: Signalling, infotainment, diagnostics, energy management &GPS
Intermodal Communications
MOBILE
Navigation
MAN
Vehicle-to-Vehicle
Safety Systems
Passenger Information
Travel Assistance
Traffic Signs
WLAN
2. Car Sharing: technology to locate, reserve and unlock nearest car on mobile, provide info via apps/GPS
Adaptive
Trip Planning
1. Congestion Charging: technology migration from ANPR – Tag& Beacon – GPS, and advanced payment and info on mobile
4. Commercial Vehicle Telematics: Vehicle/driver management, and on board tracking, computer, navigation
Fleet Management
Toll Collection

Source: ETSI

Approche systémique



3. Niveau de service du réseau optimisé

2. Meilleur comportement du conducteur

1. Amélioration du véhicule

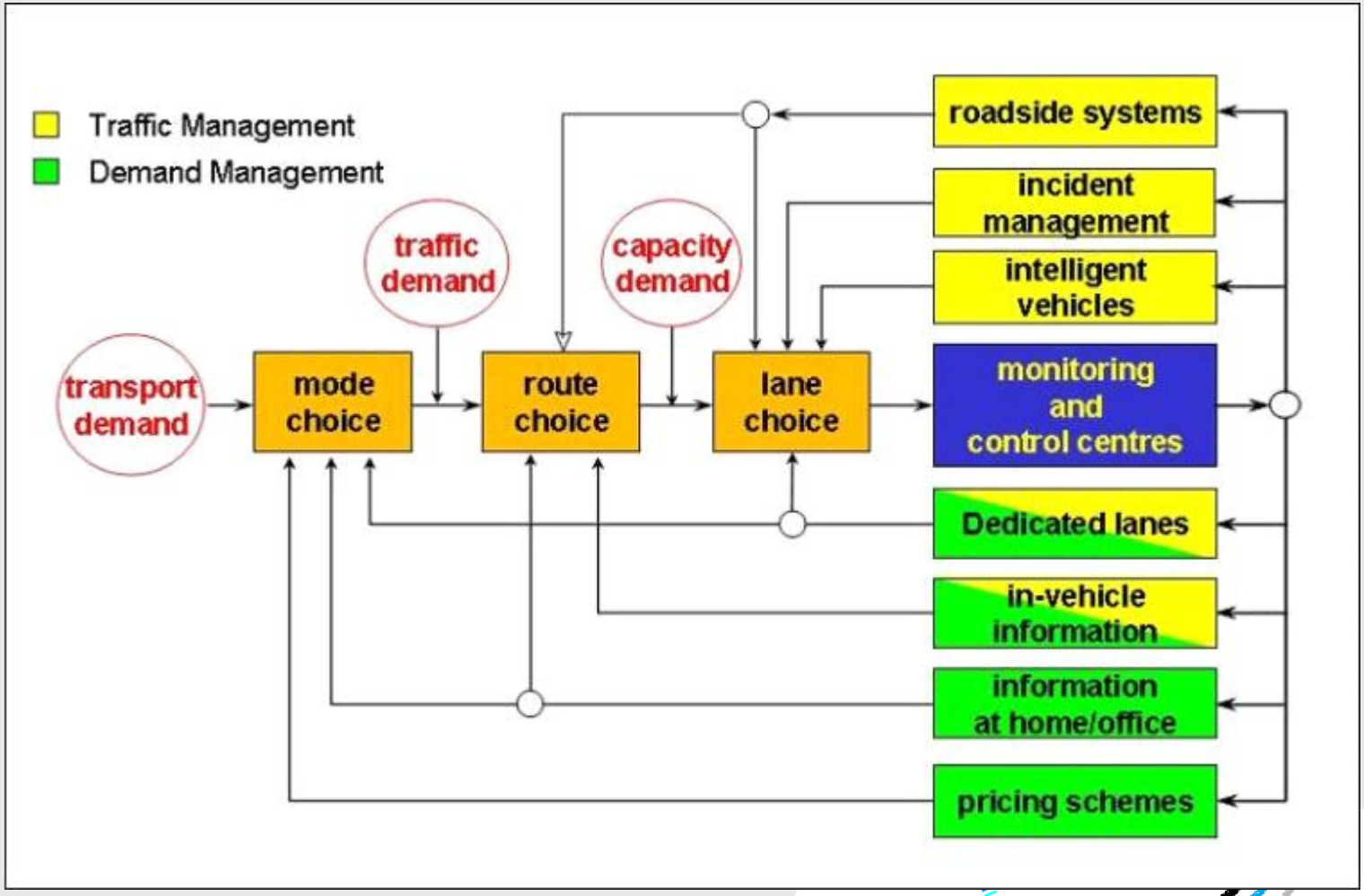
Le rôle des ITS et TIC

- Les ITS contribuent à améliorer l'efficacité / mobilité et à réduire les émissions générées par le trafic

- Les infrastructures de transport doivent être complétées par des outils de gestion intelligents pour planifier et gérer le trafic
  - Centralisation de la surveillance en temps réel
  - L'optimisation des flux de trafic
  - Usage des TC et gestion de la logistique urbaine
  - Systèmes d'information voyageurs,
  - Tenir compte de toutes les sources d'incertitude / fiabilité

Outils pour une mobilité intelligente

Les leviers : la demande et le trafic

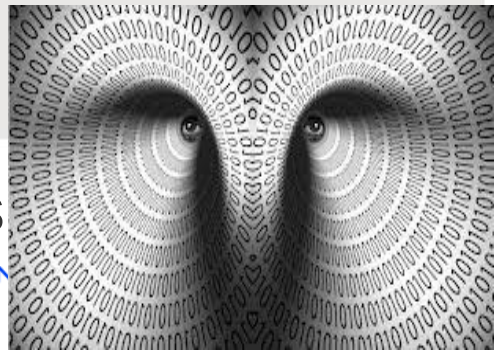


Large éventail de stratégies opérationnelles

- Améliorer l'efficacité du système de transport par :
  - Information temps-réel et multi-modale
  - Gestion pro-active du trafic
  - Gestion de la demande (tarification)
  - Amélioration des transports publics
  - Gestion de grands événements et des situations
- Défi :
  - Gestion durable des trafics/mobilité

De nouvelles réponses possibles

- S’inscrire dans la dynamique des Smart Cities
  - Mobilisation des données
  - *Open Data* (collecte et restitution des infos)
  - *Big Data* pour le traitement de données
- Mobiliser l’usager
  - Application mobiles (métro, train, vélo, co-voiturage, parking)
  - Nouveaux usages en mobilité rendant les déplacements plus faciles
- Réduction de la mobilité et de sa gestion
  - Tarification intelligente et schémas incitatifs
  - E-Commerce, Télétravail …



Smart Cities

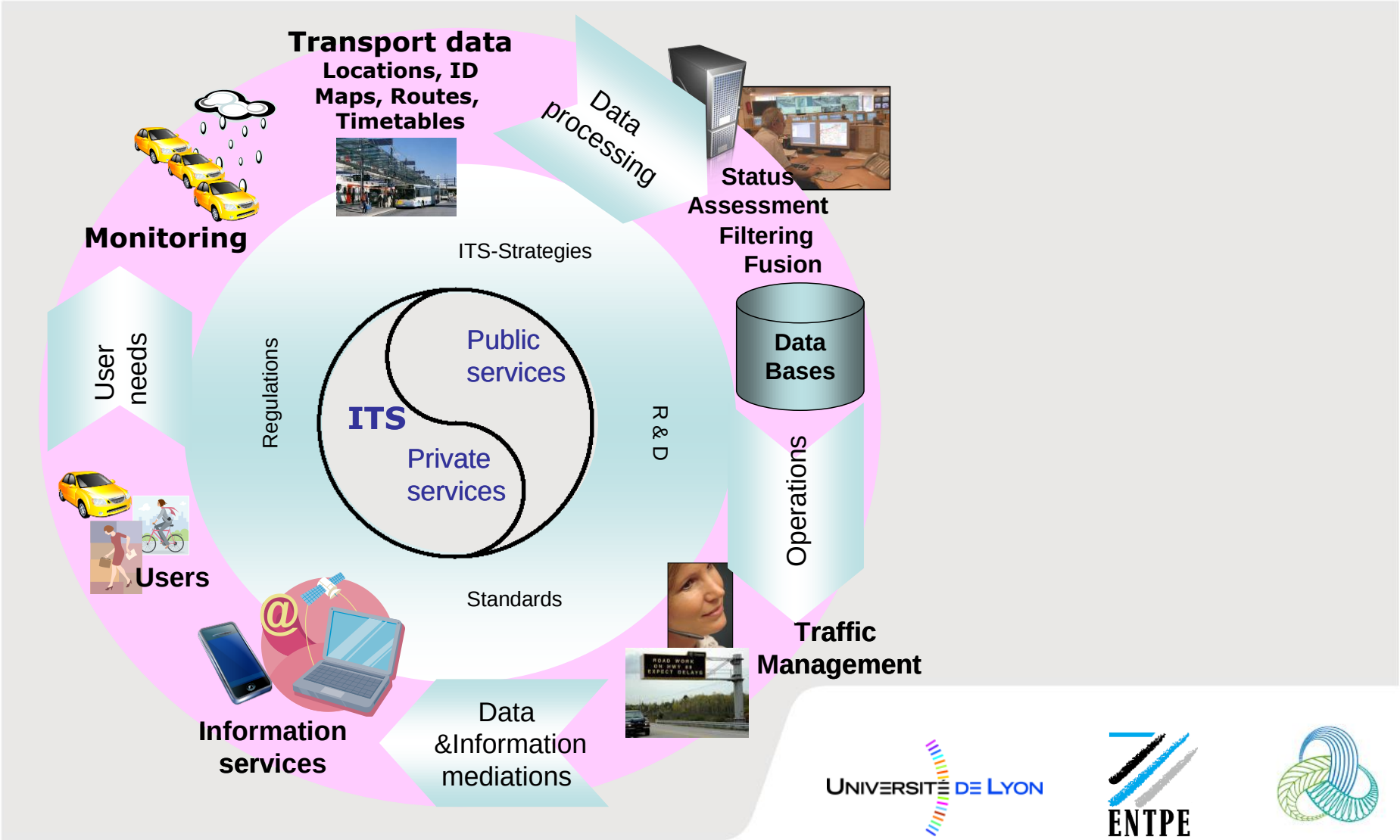
- Les objectifs :
  - Sobrieté dans l'utilisation des ressources.
  - Mettre l'usager au coeur du dispositif.
  - Permettre une approche systémique de la ville.

Ville intelligente : lien entre le développement urbain et le développement humain

III. Applications : quelques problèmes d'aide à la décision

1. Des nouvelles sources de données pour la gestion du trafic,
2. Information temps réel et multimodale,
3. Electromobilité,
4. Tarification intelligente,
5. Les systèmes coopératifs.

1. Nouvelles sources de données pour la gestion du trafic.

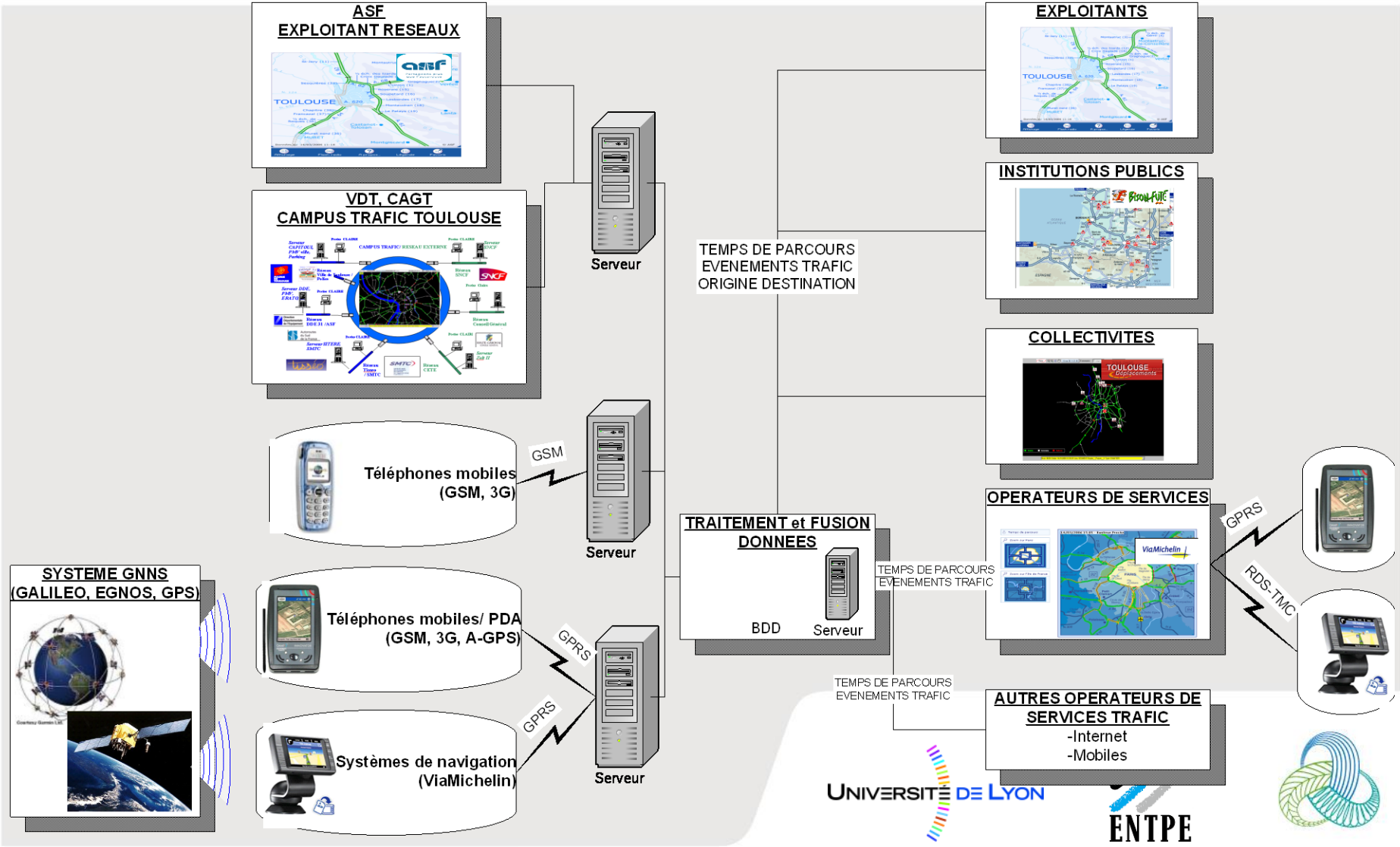


Nouveau contexte pour les gestionnaires

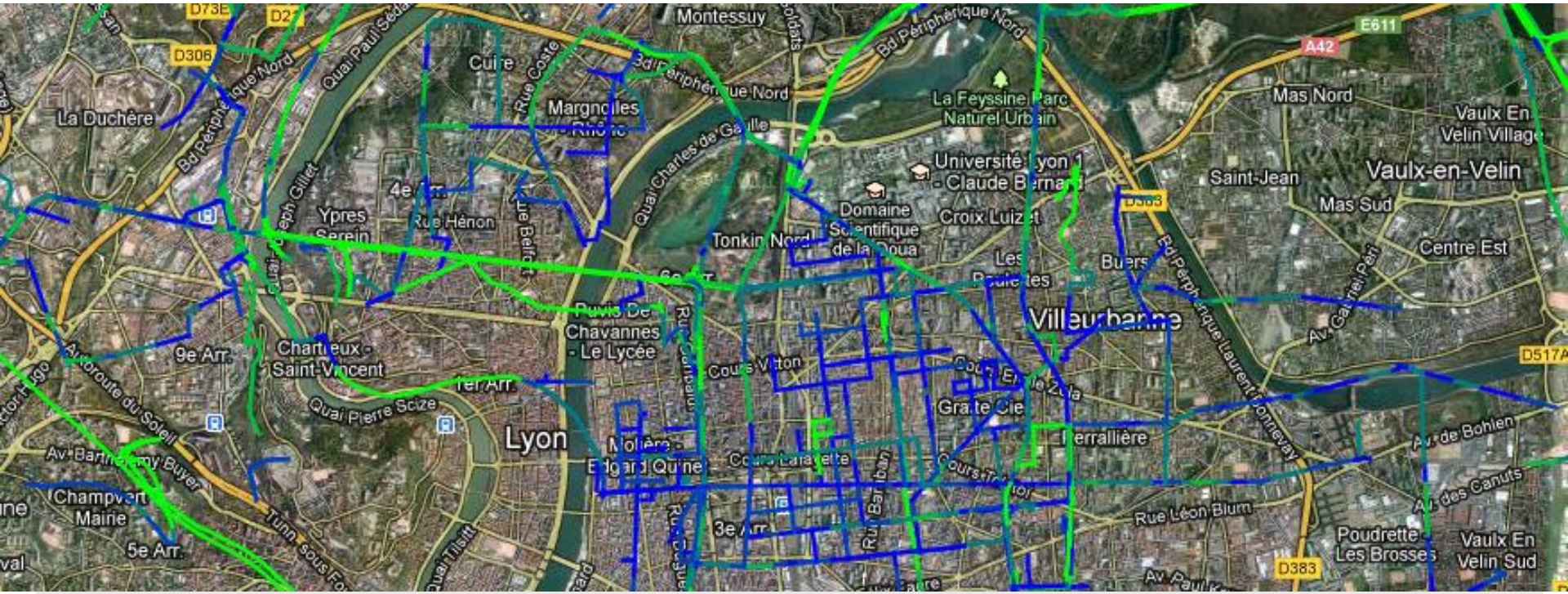
- Avant : utilisation massive de données de type « boucles électromagnétiques » pour une meilleure connaissance du trafic.
- Maintenant : nouvelles sources de données (véhicules traceurs, GPS), le véhicule devient une entité captée **ET** un capteur.
- Challenge : traiter et analyser de grands volumes de données pour construire des indicateurs pertinents.
- Rôle des ingénieurs et chercheurs : développer des outils d'aide à la décision multi-sources.

Recueil de données trafic

Recueil de données trafic (2)



Exemple 1 : données taxis (Lyon)


Montessuy
Bd Périphérique Nord
E611
A42
La Feyssine Parc Naturel Urbain
Mas Nord
Vaulx En Velin Village
Vaulx-en-Velin
Saint-Jean
Mas Sud
Centre Est
Université Lyon 1 - Claude Bernard
Croix Luizet
Domaine Scientifique de la Doua
Tonkin Nord
Buers
Villeurbanne
Les Gratte Ciel
Terrallière
Rue Léon Blum
Poudrette Les Brosses
Vaulx En Velin Sud
Av. de Bohlen
Av. des Canuts
D383
D517A
Quai Charles de Gaulle
Cours Vitton
Cours Lafayette
Rue Bonnefoy
Av. Gabriel Péri
Bd Périphérique Laurent Bonnevay
Cuire
Rue Coste
Margnolles
La Duchère
Bd Périphérique Nord
Quai Paul Sédallian
D306
D73E
D2
Ypres Serein
Rue Hénon
4e Arr.
Quai Pierre Scize
Quai Tilsitt
Rue Bellecombe
Rue Sainte-Hélène
Rue Bourbon
Rue Duguesclin
Rue Garibaldi
Rue Cuvier
Rue Bonnefoy
Rue Bellecombe
Rue Sainte-Hélène
Rue Garibaldi
Rue Cuvier
Rue Duguesclin
Rue Bourbon

Pause visualisation : données taxis (NYC)

Exemple 2 : collaboration avec AREA

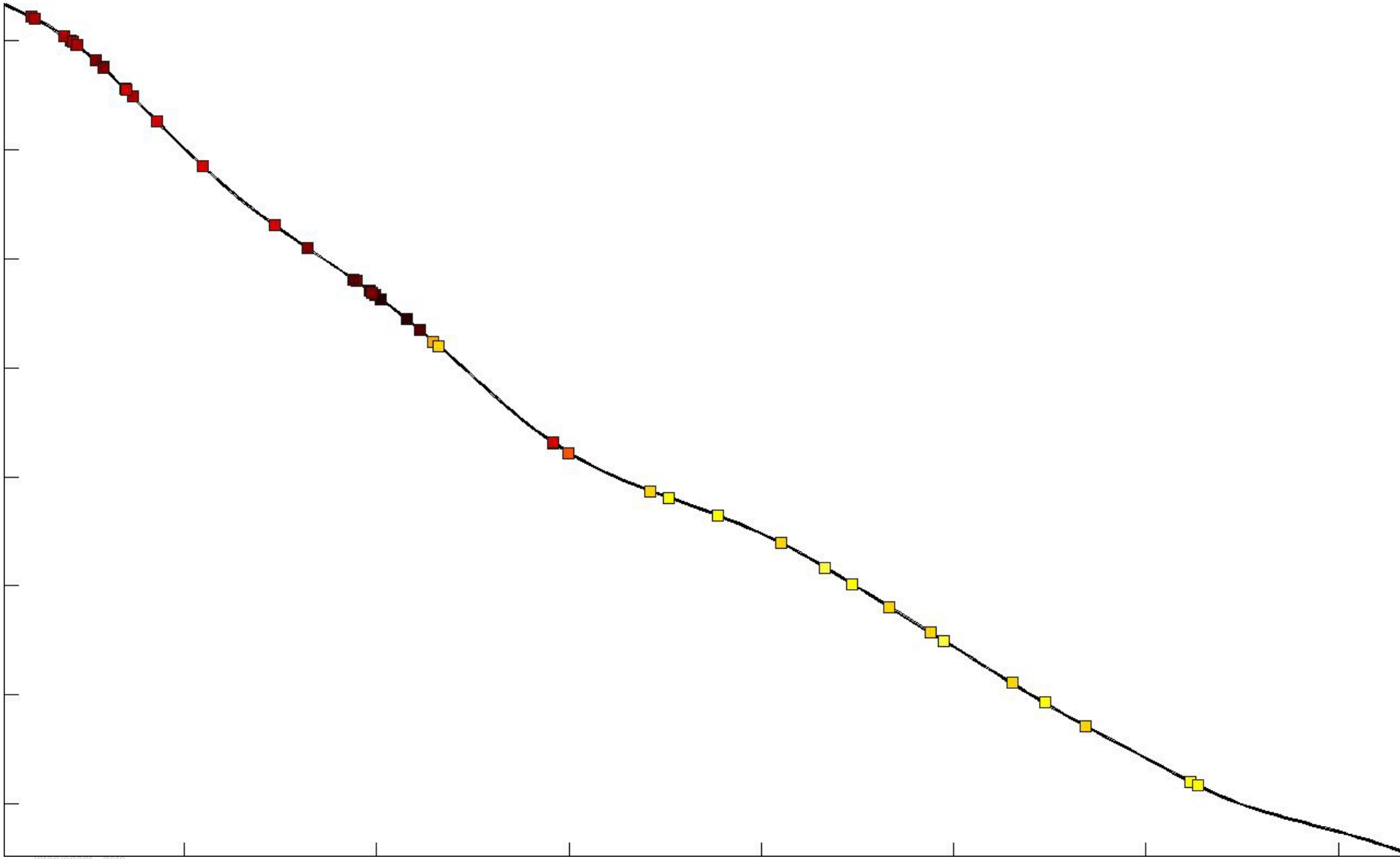
- Groupe APRR/AREA : 4ème gestionnaire autoroutier en Europe,

- Mission d'expertise : AREA veut évaluer l'apport des données issues de véhicules traceurs pour la gestion de trafic,

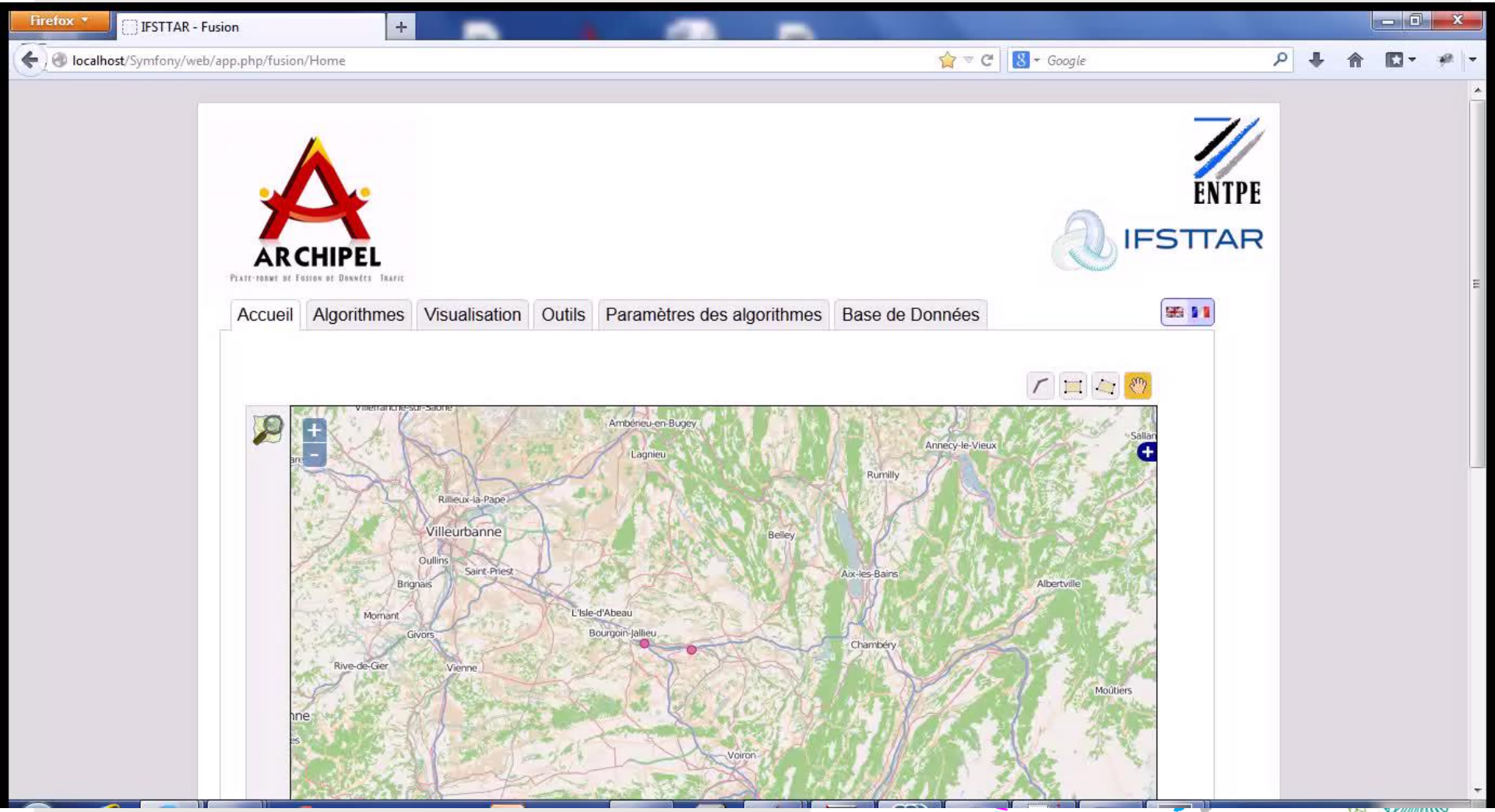
- Analyse de 50000 à 100000 positions de véhicules sur le trajet A43 Lyon-Chambery

Exemple 2 (suite)

Exemple 2 : stage TFE/Master

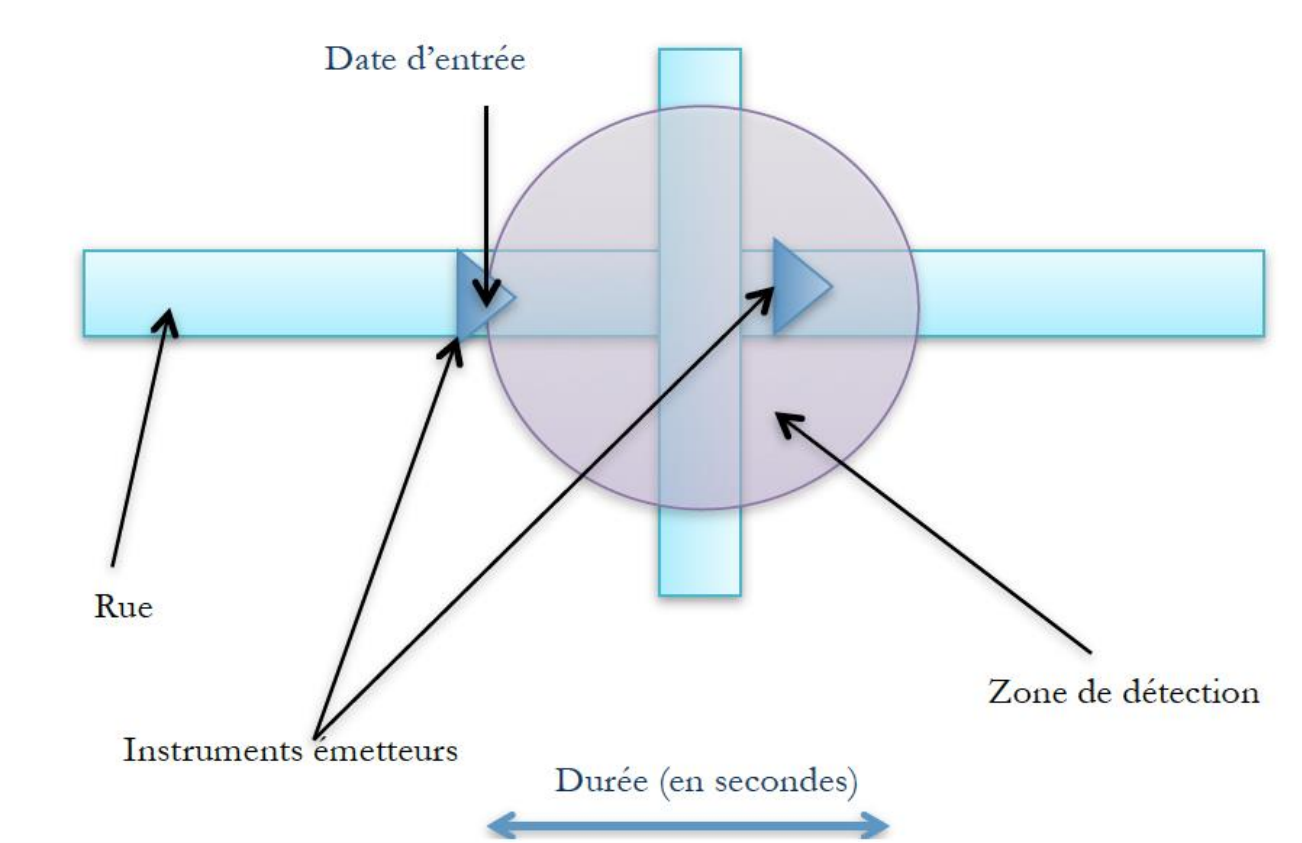


Exemple 2 : plateforme de démonstration



Exemple 3 : données Bluetooth (Brisbane)

- Les données Bluetooth présentent un fort potentiel pour la caractérisation d'un réseau.
- Chaque fois qu'un instrument Bluetooth franchit une zone de détection, il est stocké dans une base de données.



Exemple 3 : données Bluetooth (Brisbane)

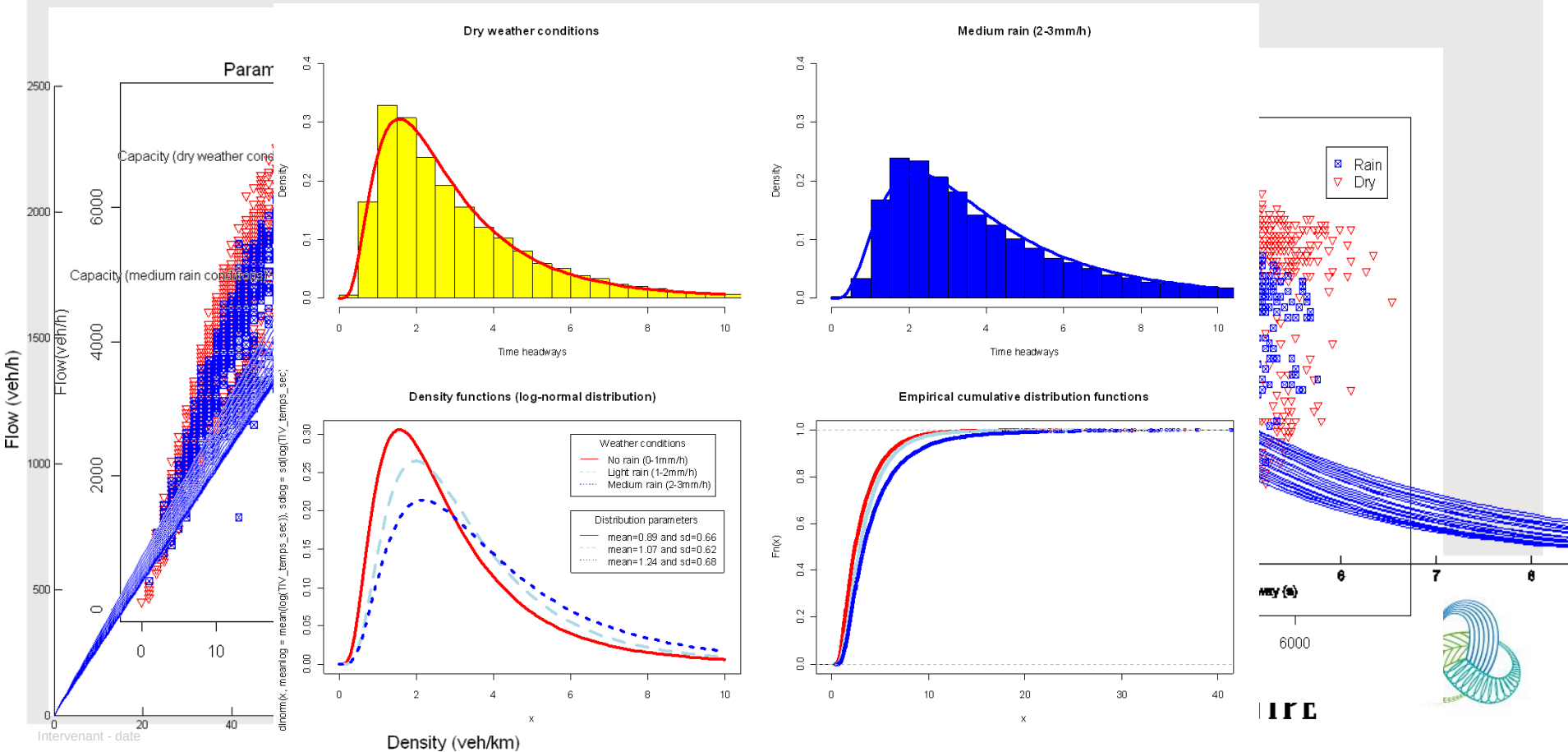
Forum Syntec

Une mobilité interconnectée pour une ville intelligente

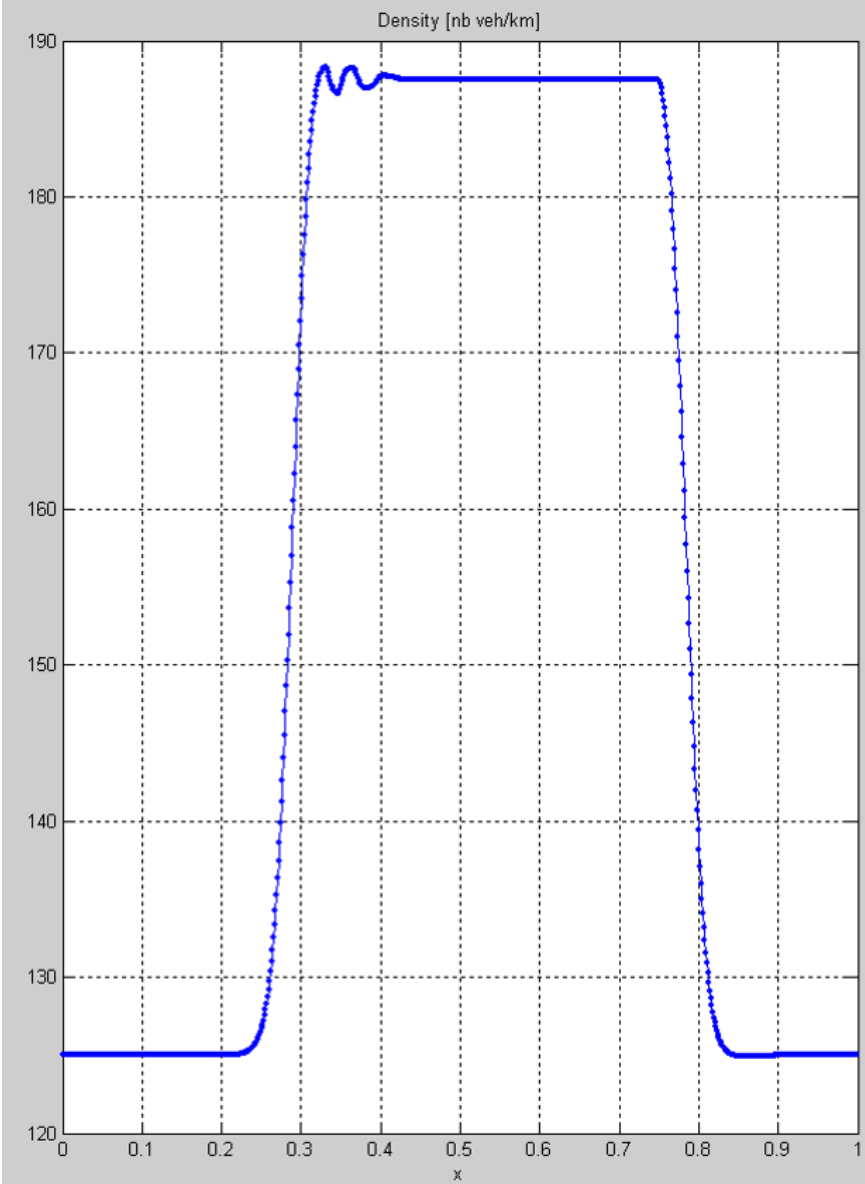
ENTPE

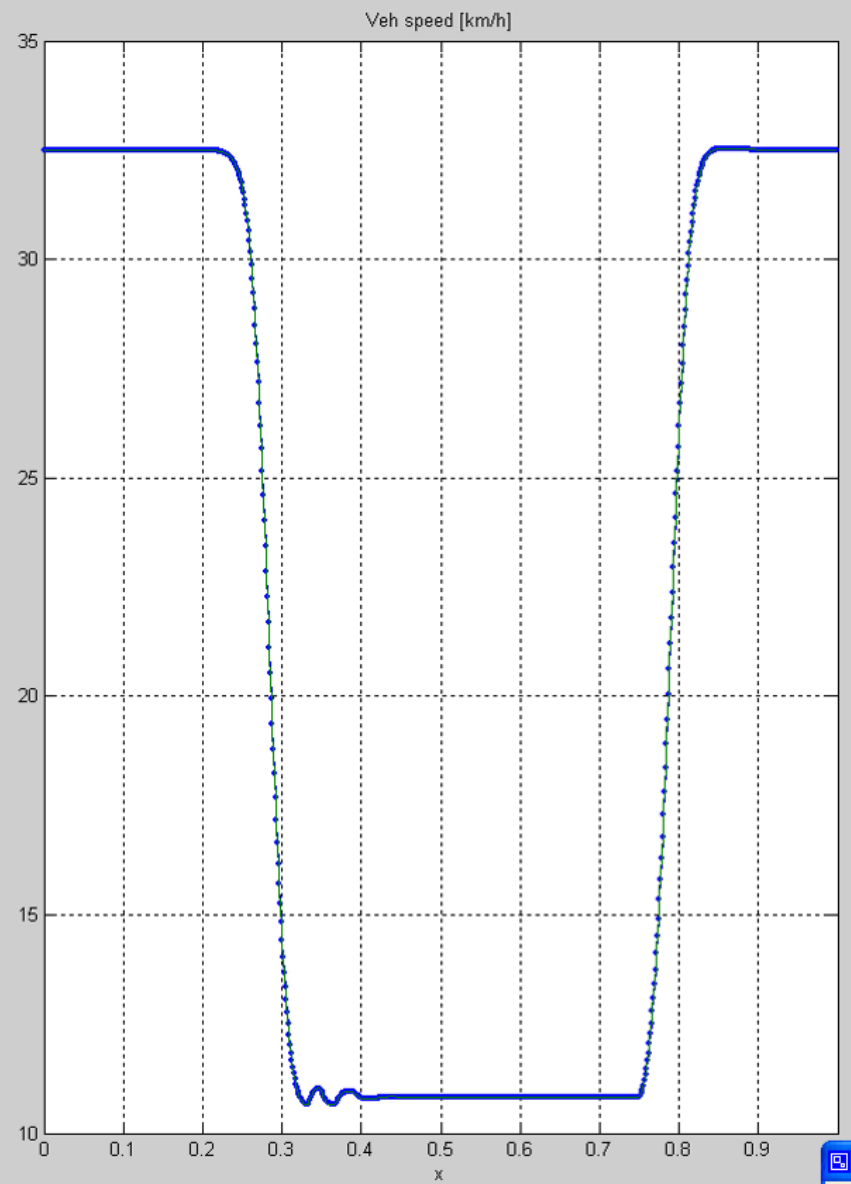
Exemple 4 : intégration de l'incertitude (données météorologiques)

- Source d'incertitude : hétérogénéité du trafic, conditions météorologiques etc.
- Exemple de projet de recherche : développement de modèles mathématiques intégrant des paramètres météorologiques (ex : intensité de la pluie).

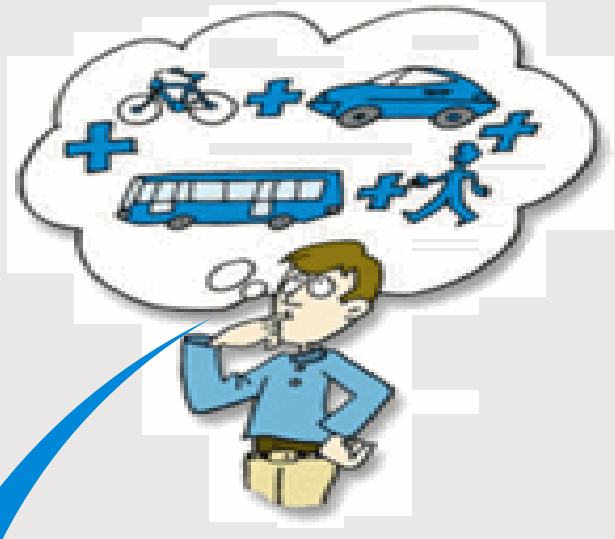


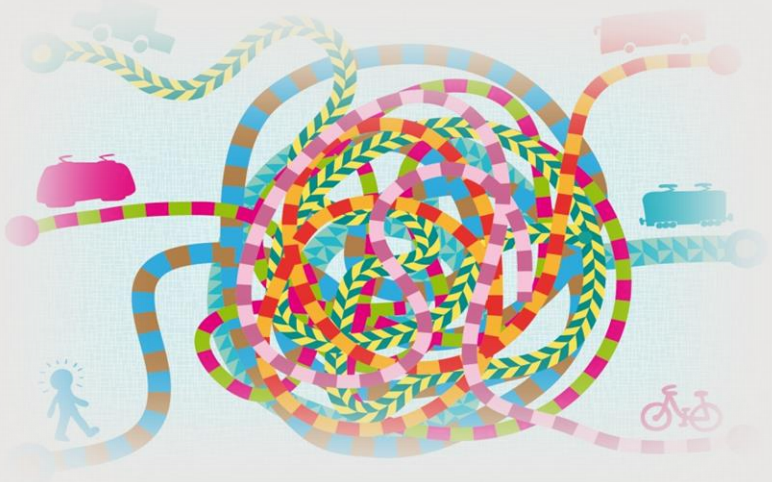
Exemple 4 : données météo (suite)





2. Information usagers temps-réel et multimodale





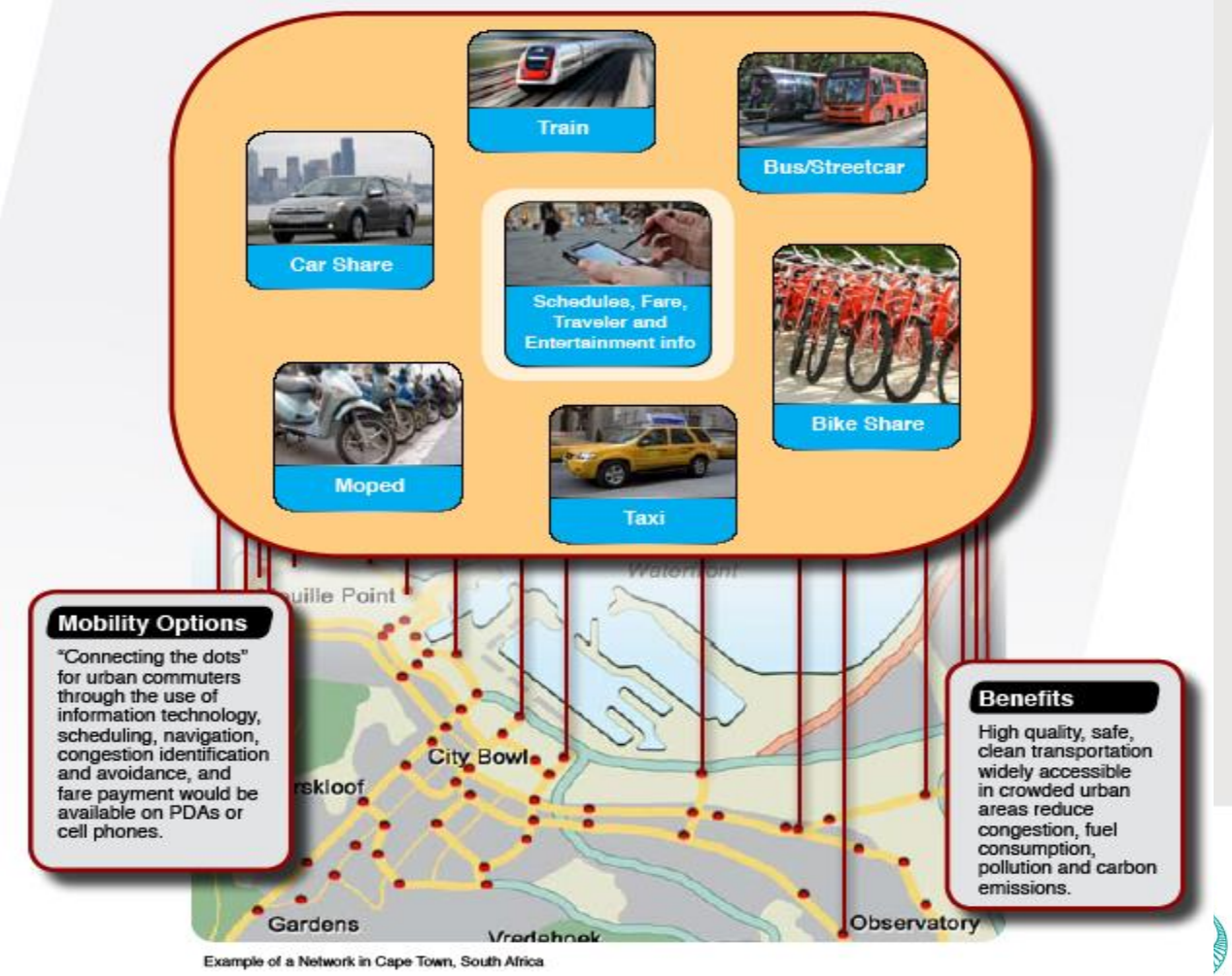
Information multimodale : besoins

1. Information multimodale, dynamique, «porte-à-porte» pour la planification et pour le guidage dynamique
2. Répondre aux interrogations des usagers

– Pour une OD et une plage horaire de départ ou d'arrivée :
  - Quelle combinaison modale et quel itinéraire utiliser ?
  - A quelle heure partir ?

– Pour un programme d'activités donné :
  - Quelle combinaison modale et quel itinéraire utiliser sur chaque trajet ?
  - Où stationner le véhicule privé (voiture ou vélo) à la fin de chaque trajet ?

Plusieurs options pour relier les points



Example of a Network in Cape Town, South Africa

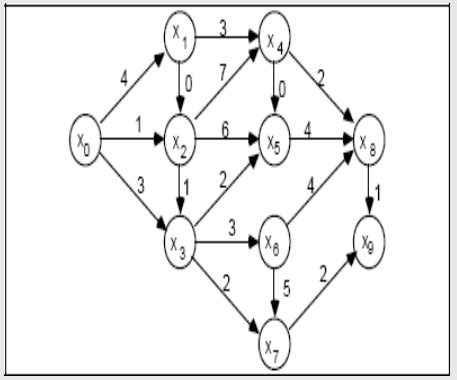
Etat de l'art : scénario 1

Scenario 1

. Requête d'un usager pour un trajet en voiture

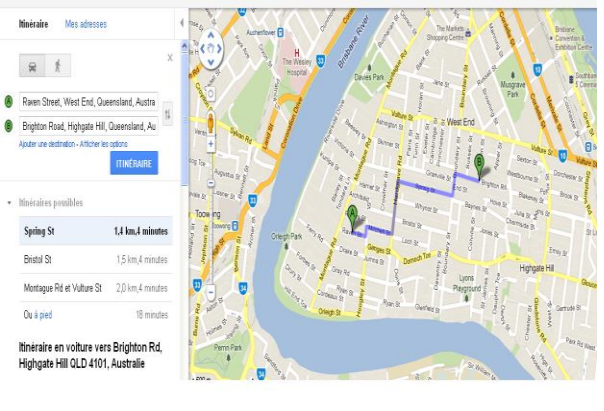
En recherche ?

Problème bien connu du pcc entre deux points



Dans le monde réel ?

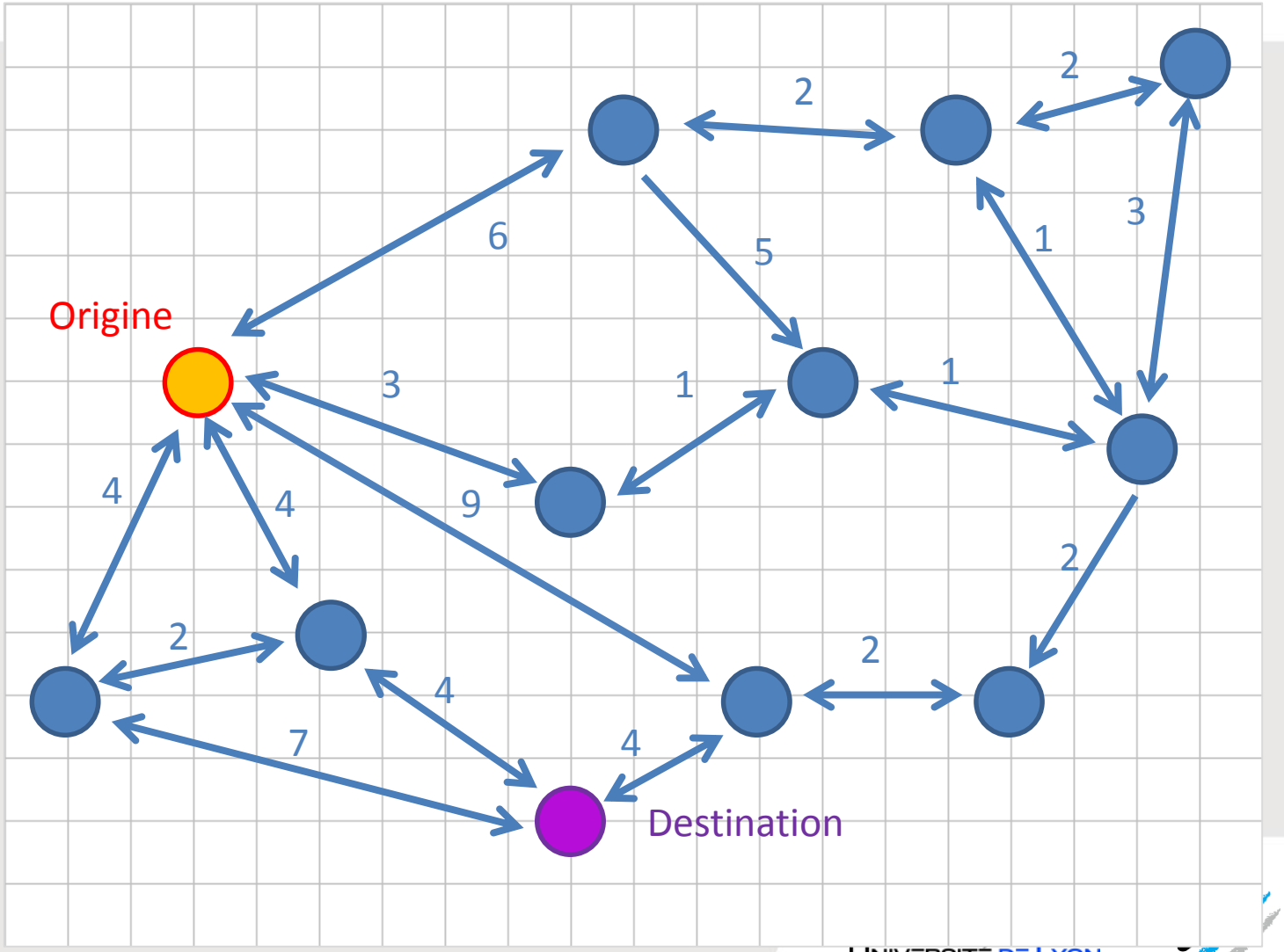
Google maps, etc...



Algorithme A*

- Idée : orienter la recherche dans la direction la plus naturelle
- But : réduire le nombre de sommets examinés
- Heuristique : utilisation de la distance euclidienne
- Méthode exacte si l'heuristique sous-estime la distance réelle
- Mais méthode rapide si heuristique proche de la réalité

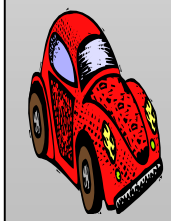
Algorithme A*



Etat de l’art : scenario 2

Scenario 2

· Requête avec différents modes
·possibles

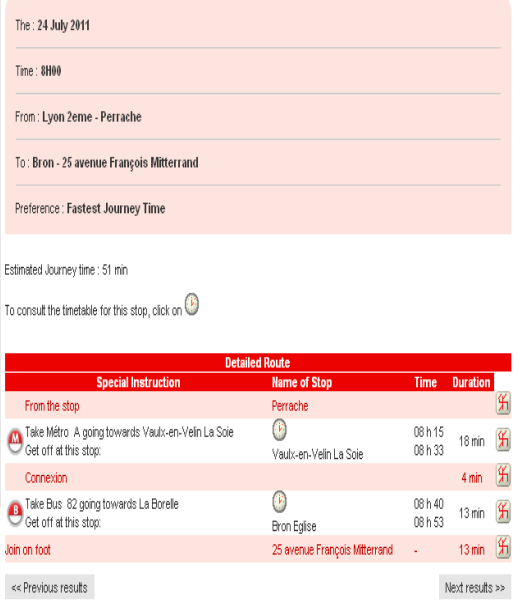


En recherche ?

Extension des méthodes classiques pour un graphe multimodal

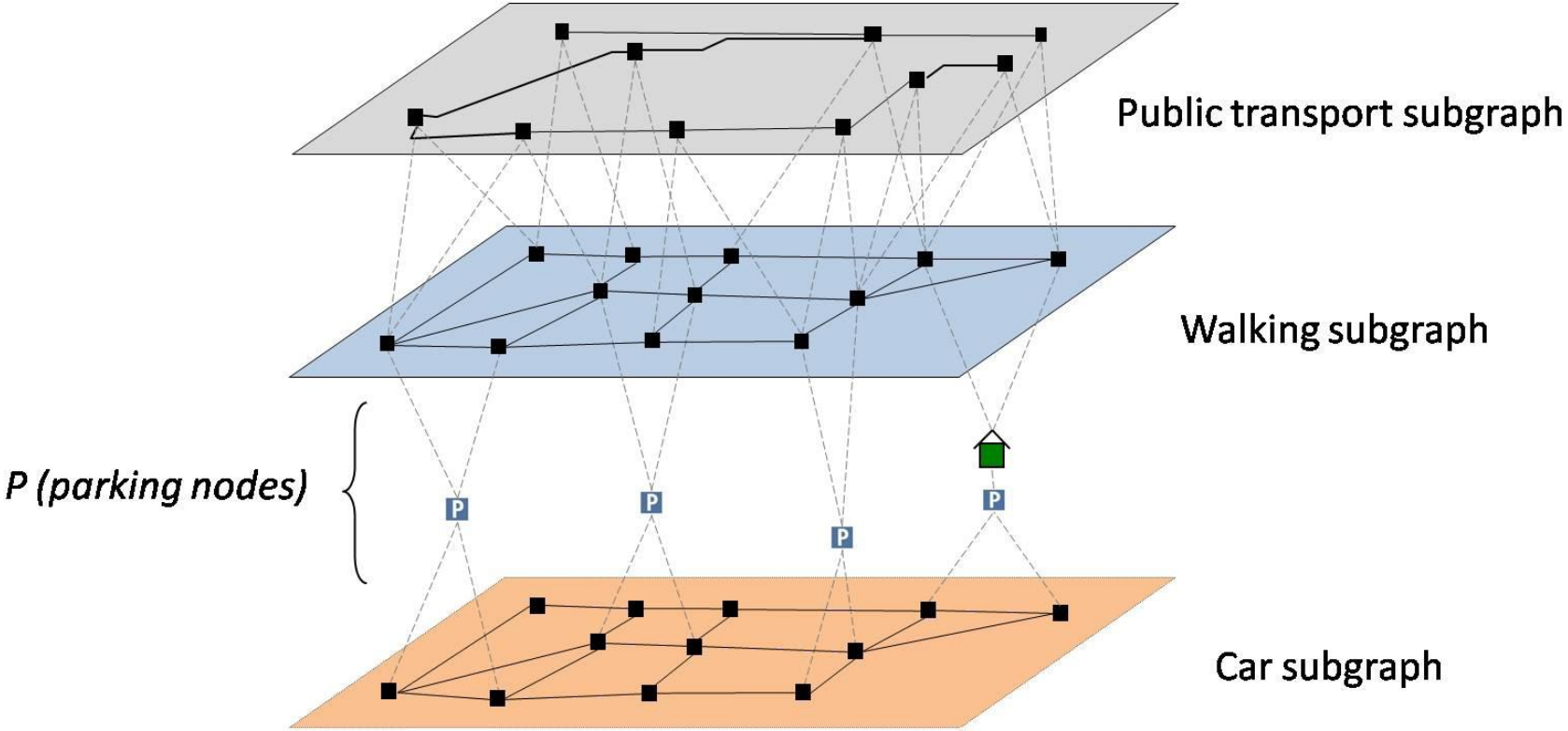
Dans le monde réel ?

Quelques calculateurs d'itinéraires mais encore beaucoup de travail.



Structures de graphe

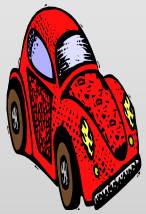
- Plusieurs solutions : graphes multi-valués, multi-niveaux etc.



Etat de l’art : scenario 3

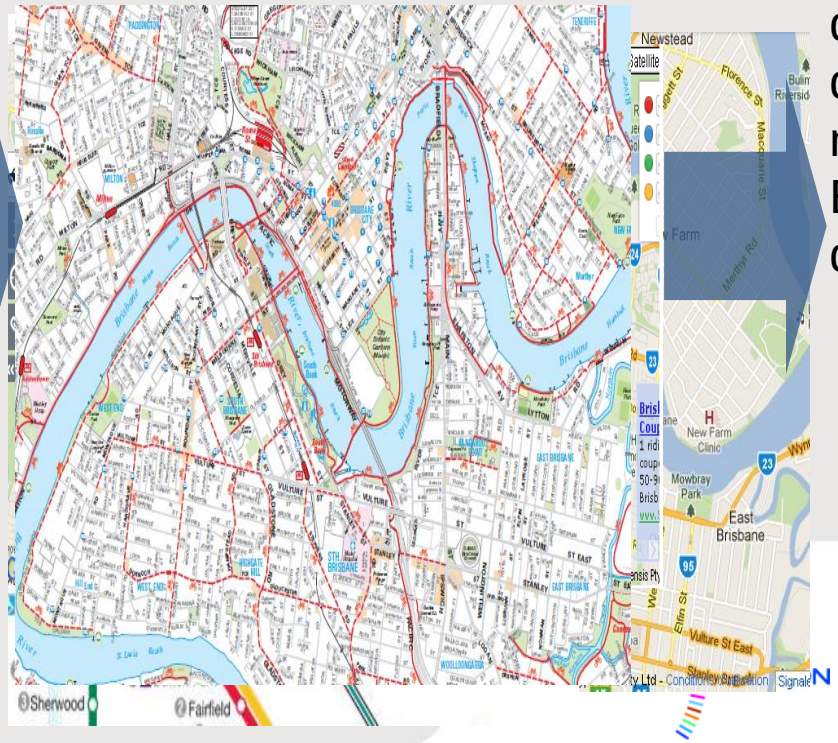
Scenario 3

Trajets domicile-travail aller-retour via pôles d'échange



En recherche ?

Problèmes moins traités



Dans le monde réel ?

Ce type de trajet n'a jamais été implémenté dans un système d'information multimodale.

Besoin de recherche dans le domaine

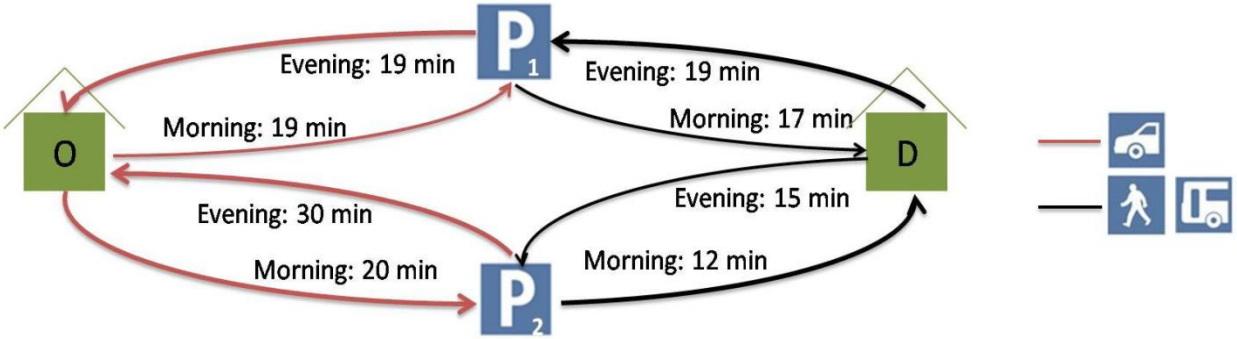
ENTPE

Etat de l’art : scenario 3

- **Exemple**
  - Voiture stationnée au domicile
  - Voyage aller-retour : la voiture est laissée à un pôle d'échange.

Morning optimal path via P_2: 32 min

Optimal viable two-way path via P_1: 74 min



Enjeux algorithmiques

- Aspects dynamiques
- Introduction de l'incertitude
- Optimisation multi-objectif

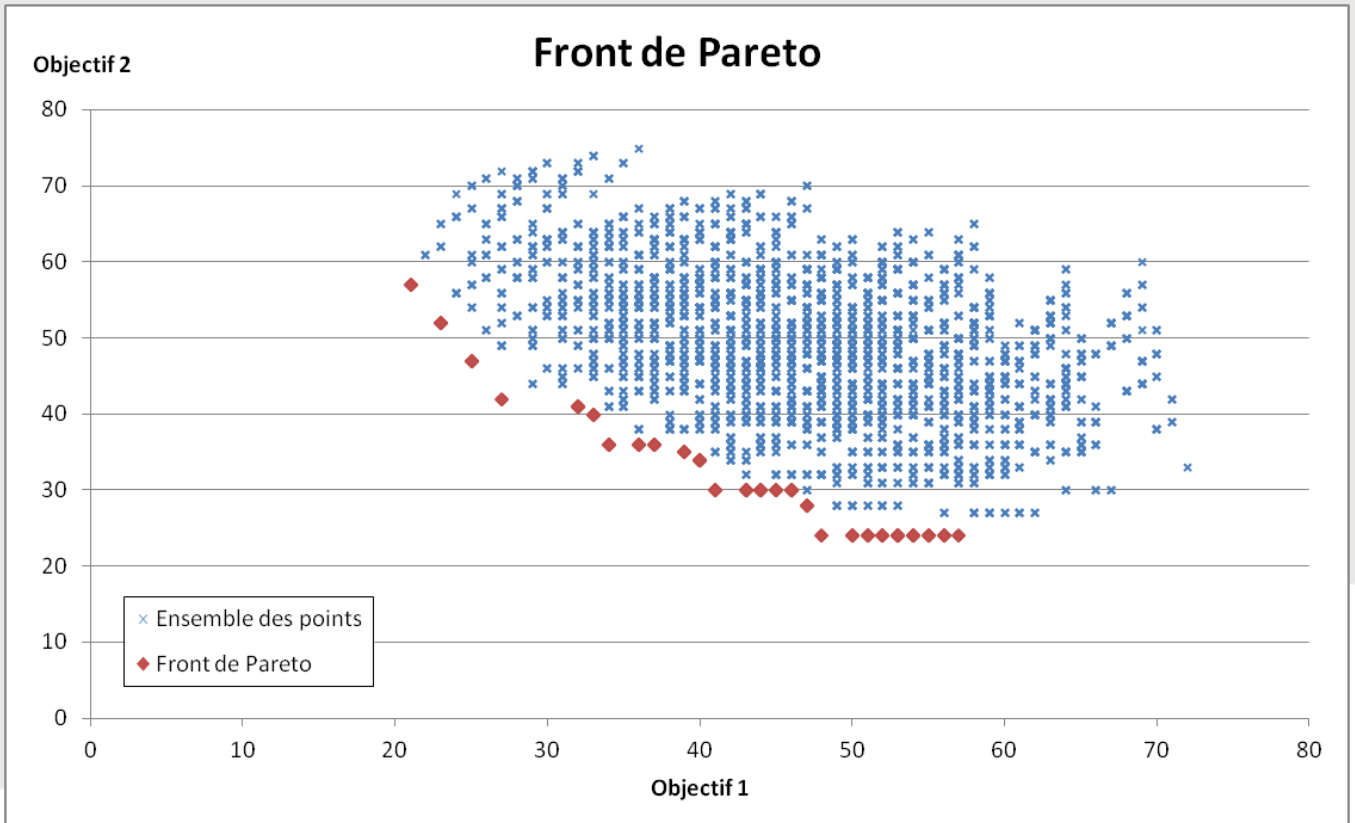
Une bonne solution peut dépendre de plusieurs critères :

Confort, nombre de changements de mode, coût monétaire, émissions Co2, temps de parcours etc.

Les algorithmes multimodaux peuvent générer des solutions au sens de chacun de ces critères.

Pb multi-objectif : front de Pareto

Les solutions Pareto-optimales ou non dominées sont les solutions dont une amélioration dans l'un des critères implique nécessairement une détérioration pour au moins l'un des autres critères.



Structure générale

DONNEES HORS LIGNE

Réseau routier

Réseau de transports publics

Offre stationnement "parking"

Emplacements des VLS

DONNEES EN LIGNE

Estimations des TP par mode & interface

TP VP

TP TC

Modes doux

Aleas

BASE DE DONNEES

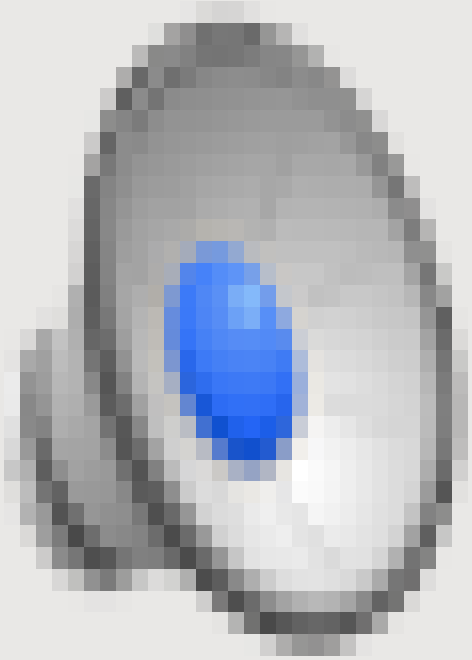
REPRESENTATION DU RESEAU MULTIMODAL

Requêtes utilisateurs

Calculateur d'itinéraires en ligne

ENTPE

Le projet TEMPUS : calculateur d’itinéraires open-source



UNIVERSITÉ DE LYON

ENTPE

Le futur proche : diffusion de l’information en réalité augmentée

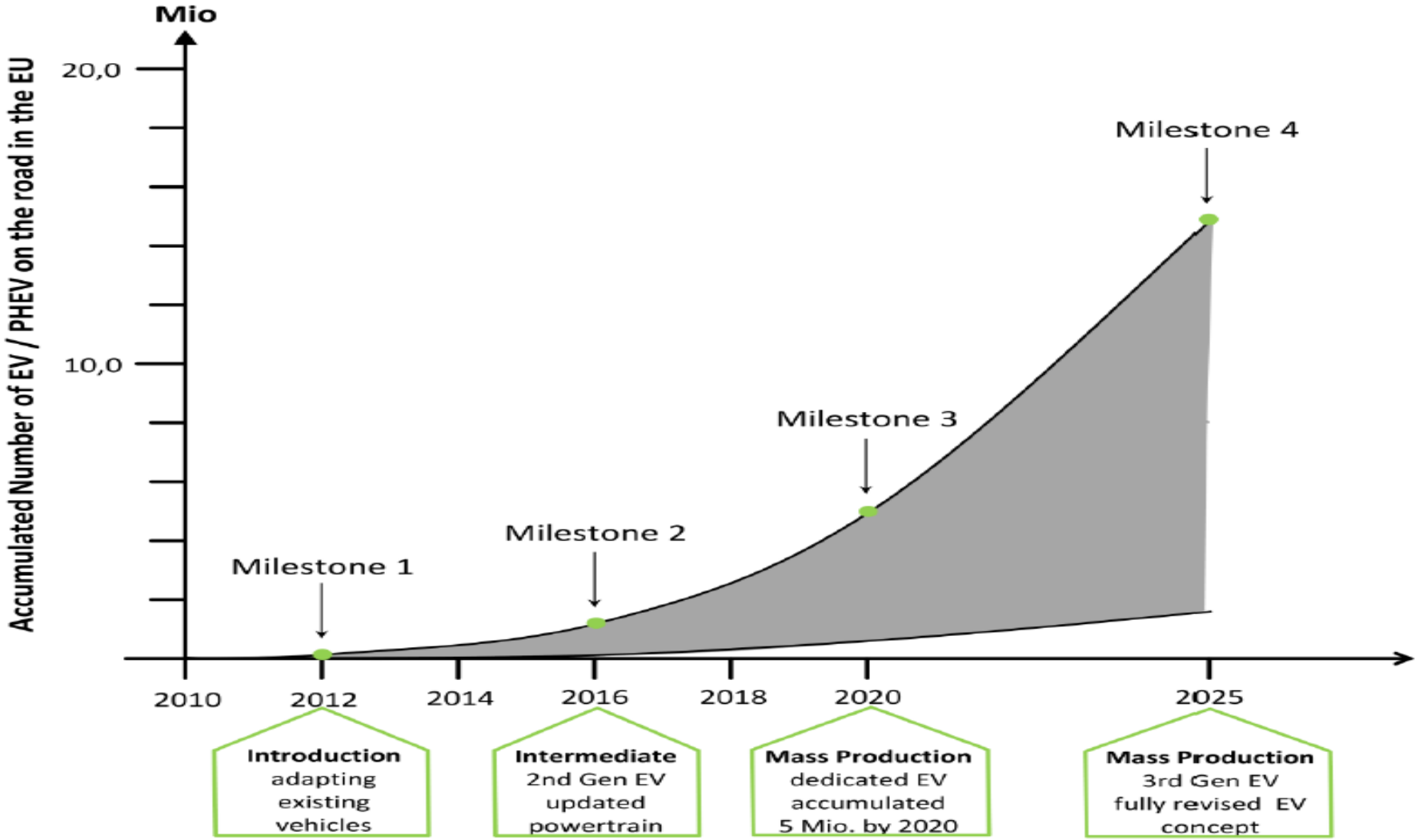
Information contextualisée et communautaire

3. Electromobilité

Les leviers de l'électro-mobilité

Politique	- Dépendance de l'énergie fossile
Economique	- Augmentation/volatilité des prix - Nouvelles opportunités économiques - Bon marché à long terme - D'un marché de niche à un marché de masse
Sociétal	- Urbanisation - Santé
Technologique	- Batterie, autonomique, stockage
Environmental	- Réduction des émissions
Légal	- Politiques gouvernementales

Perspectives à 15 ans



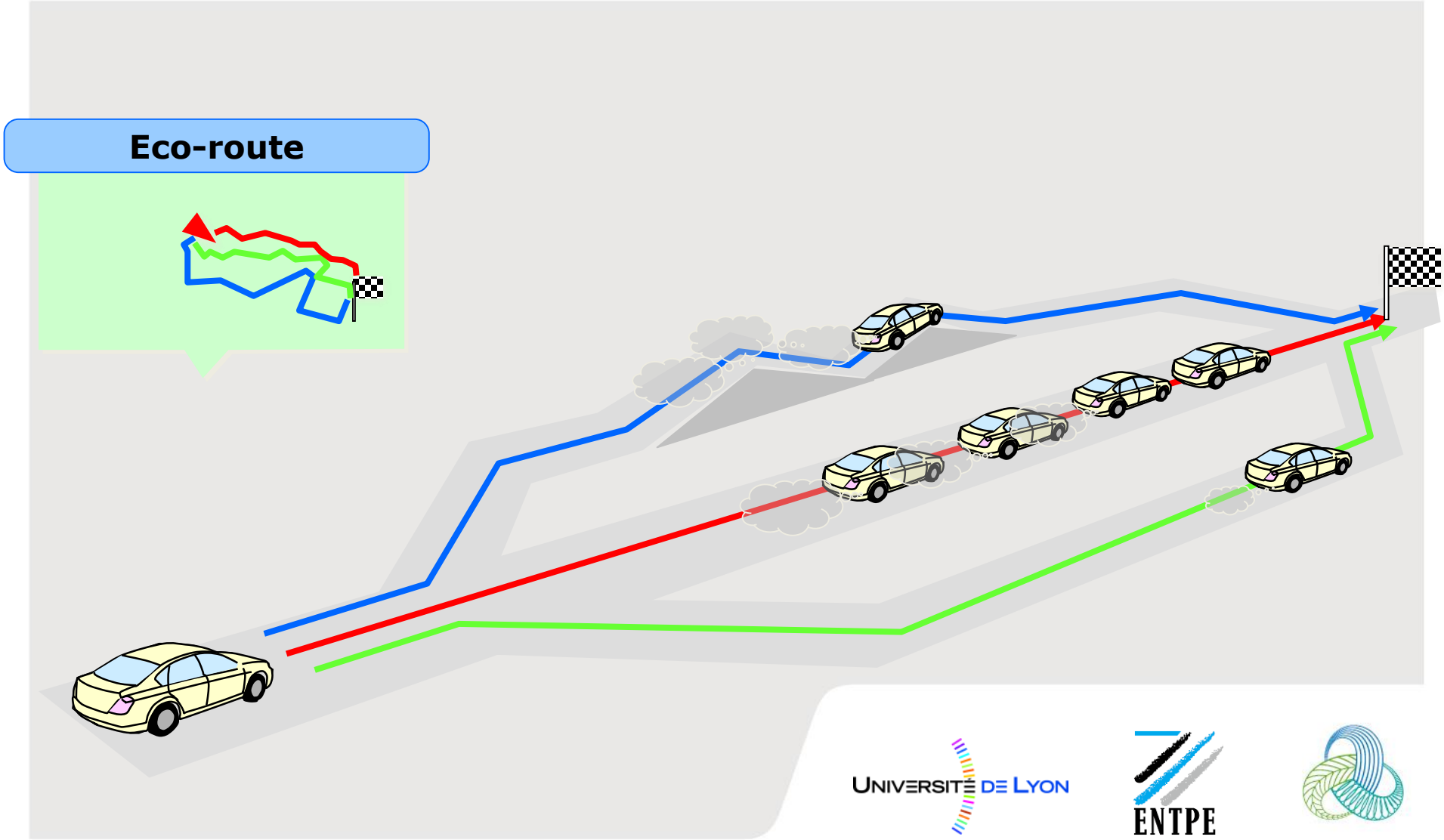
Spécificités des VEs

- Autonomie : faible autonomie par rapport à un véhicule thermique,
- Temps important de charge,
- Faible densité de stations de recharge,
- Capacité de récupération d'énergie de freinage.

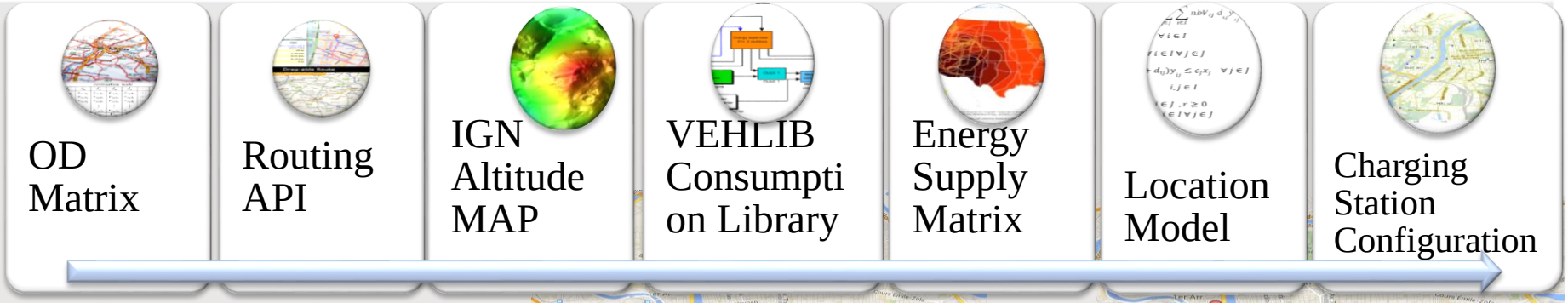
Enjeux algorithmiques :

1. Meilleur itinéraire pour un véhicule électrique
2. Placement optimal des stations de recharge

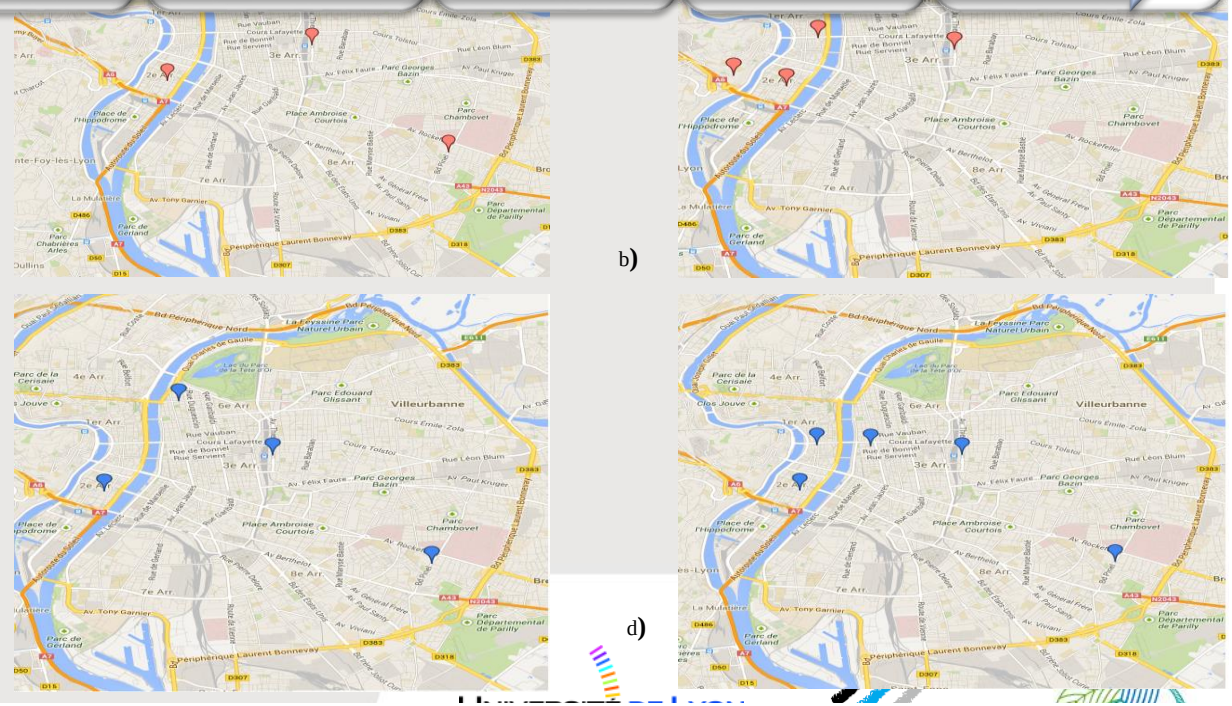
Exemple d’outil



Ex : allocation de stations de recharge



$$
(FCLDM)\begin{cases}
\text{Min} \sum_{j \in J} f_j x_j + \alpha \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} nbV_{ij} d_{ij} y_{ij} & (2)\\
\sum_{j \in J} y_{ij} = 1, \forall i \in I & (3)\\
y_{ij} - x_j \leq 0, \forall i \in I, \forall j \in J & (4)\\
\sum_{i \in I} nbV_{ij}(D_i + d_{ij}) y_{ij} \leq c_j x_j, \forall j \in J & (5)\\
r x_i x_j \leq dist_{ij}, \forall i, j \in I & (6)\\
x_j \in \{0,1\}, j \in J, r \geq 0 & (7)\\
y_{ij} \in \{0,1\}, i \in I, j \in J & (8)
\end{cases}
$$



F Simulation results.

(a) 20 % EVs rate and 5 % simultaneous recharge-needed vehicles (b) 20% EVs rate and 7 % Simultaneous recharge-needed vehicles

(c) 1% EVs rate and 100 % Simultaneous recharge-needed vehicles **(d) 2% EVs rate and 100 % Simultaneous recharge-needed vehicles**

4. Tarification intelligente

Tarification et incitation financière pour la mobilité intelligente et multimodale

- Gestion multimodale de la mobilité tout en proposant une orientation de l'innovation technologique et des marchés,
- Articulée autour de la tarification globale de la mobilité
- Induire un changement de comportements des usagers vers des modes "durables.
  - Exemple: congestion charging à London, Stockholm & Milan

Les 5 objectifs

1. Agir comme levier pour favoriser une mobilité plus douce :
   - Respecter les seuils de réduction des émissions (CO2) Favoriser les modes doux complémentaires (covoiturage, etc.)
   - Prendre en compte les aspects qualité de vie (accessibilité lieux de travail)
2. Favoriser un transfert modal optimisé vers les TC
3. Intégrer les objectifs de la politique locale dans le calcul tarifaire
4. Favoriser l'acceptabilité du paiement de la mobilité en fonction de l'usage et de la situation des réseaux
5. Définir et comprendre les formes d'une nouvelle activité économique autour de tous ces processus de paiement et de gestion de l'espace de la mobilité.

Moyens

- Tarification intelligente et dynamique de l'usage de l'espace
  - routes, TC, parking
  - un véhicule passe 95 % de son temps à l'arrêt

- Incitations financières
  - Partir de programme de fidélisation
  - Termes "incentive", "bonification"
  - Emergence de la "gamification".
    - Gamification can be defined as "an informal umbrella term for the use of game elements in non-gaming systems to improve user experience and user engagement"

(Deterding et al., 2011).

Intérêts

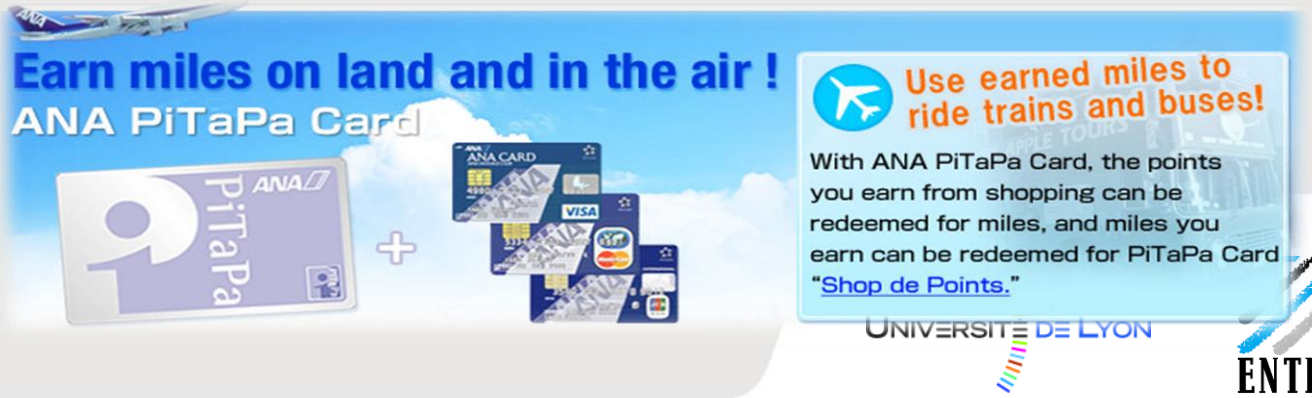
- On obtient un résultat plus supportable politiquement et socialement en utilisant des incitations financières au niveau individuel.
  - Il n'existe pas d'incitatif *a priori*, mais seulement en fonction des modifications de comportement.

- On peut optimiser les émissions d'un réseau (multimodal) par une politique tarifaire spécifique

Conditions d'application

- Les comportements d'usage de l'espace pourraient être intégrés au travers de la mise en place d'un programme de fidélisation
  - Carte de paiement et fidélité à l'instar des cartes de compagnies aériennes (suivi des comportements).

- L'incitation est individuelle et non collective.
  - Une économie de l'incitation



Les terrains actuels

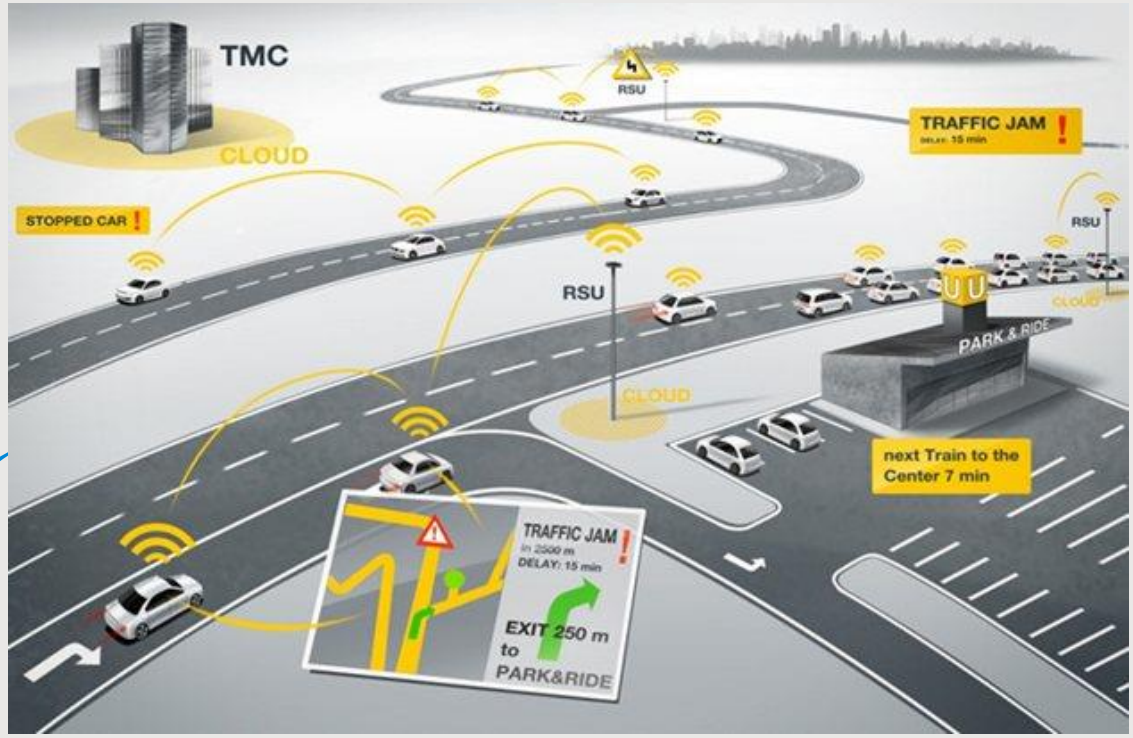
- Singapour
  - suivie par université de Stanford (Pr. Balaji Prabhakar). Incitations financières pour choix horaires trains en heures creuses.
- San Francisco :
  - « pricing » : parking dynamique
- Oregon :
  - péage routier au mile.
  - Taxe essence pour une flotte plus économe (veh. électriques)
- Japon :
  - la carte de fidélité paiement/transport/commerce/parking PITACA à Kyoto, Kobe, Osaka.
- Paris ? En discussion

Exemple de Singapour

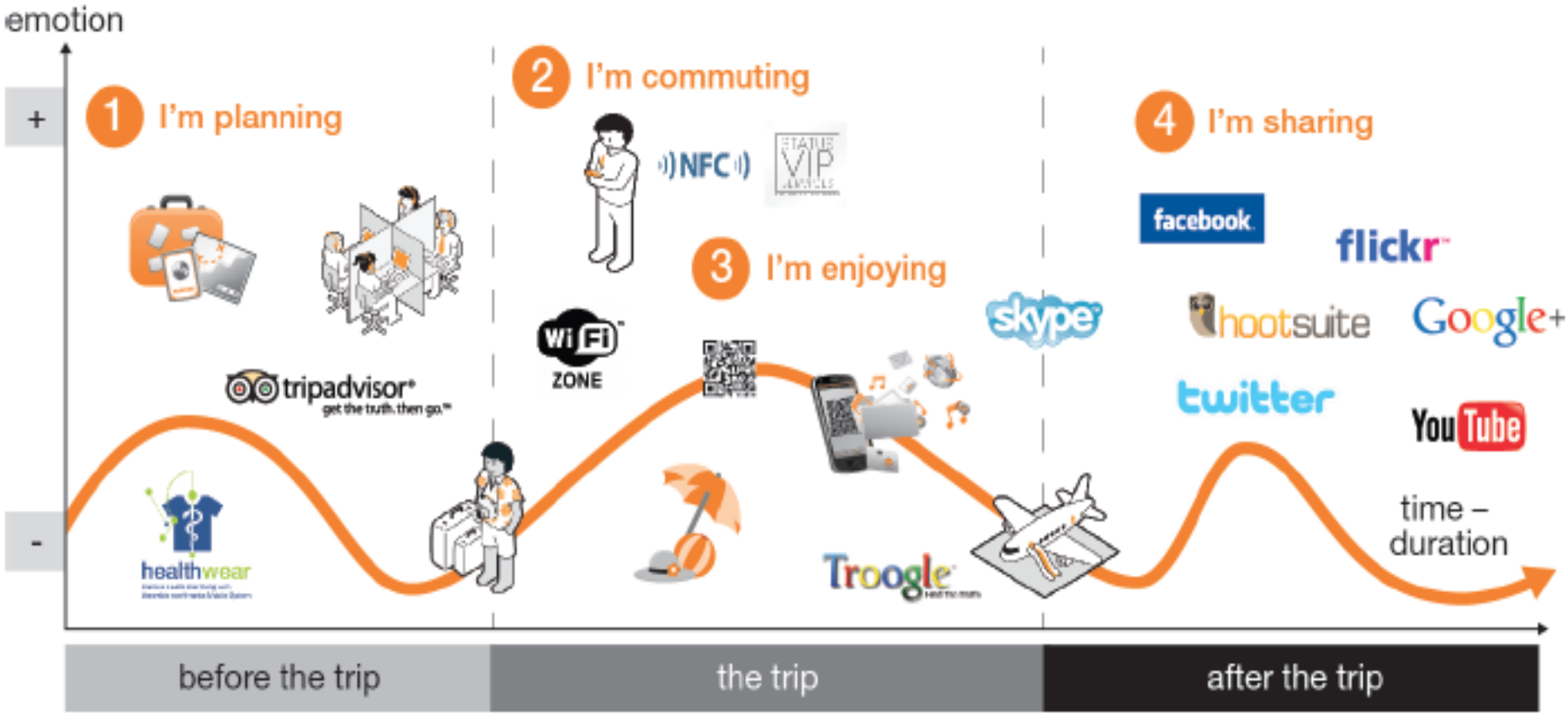
Les grands enjeux

- Replacer la mobilité (multimodale) dans le contexte d'un marché,
- Au travers d'une relation "client" individualisée,
- En évaluant l'économie des incitations financières au transfert modal
  - type carte fidélité aérienne,
- Sur des terrains d'expérimentation qui restent à définir.

5. Les systèmes coopératifs



What's Next?


emotion
+
-
1 I'm planning
2 I'm commuting
3 I'm enjoying
4 I'm sharing
NFC
STATUS VIP
WiFi ZONE
tripadvisor
get the truth. then go.
healthwear
Troogle
skype
facebook
flickr
hootsuite
Google+
twitter
YouTube
time – duration
before the trip
the trip
after the trip

Convergence du multimédia, de la mesure et de la communication

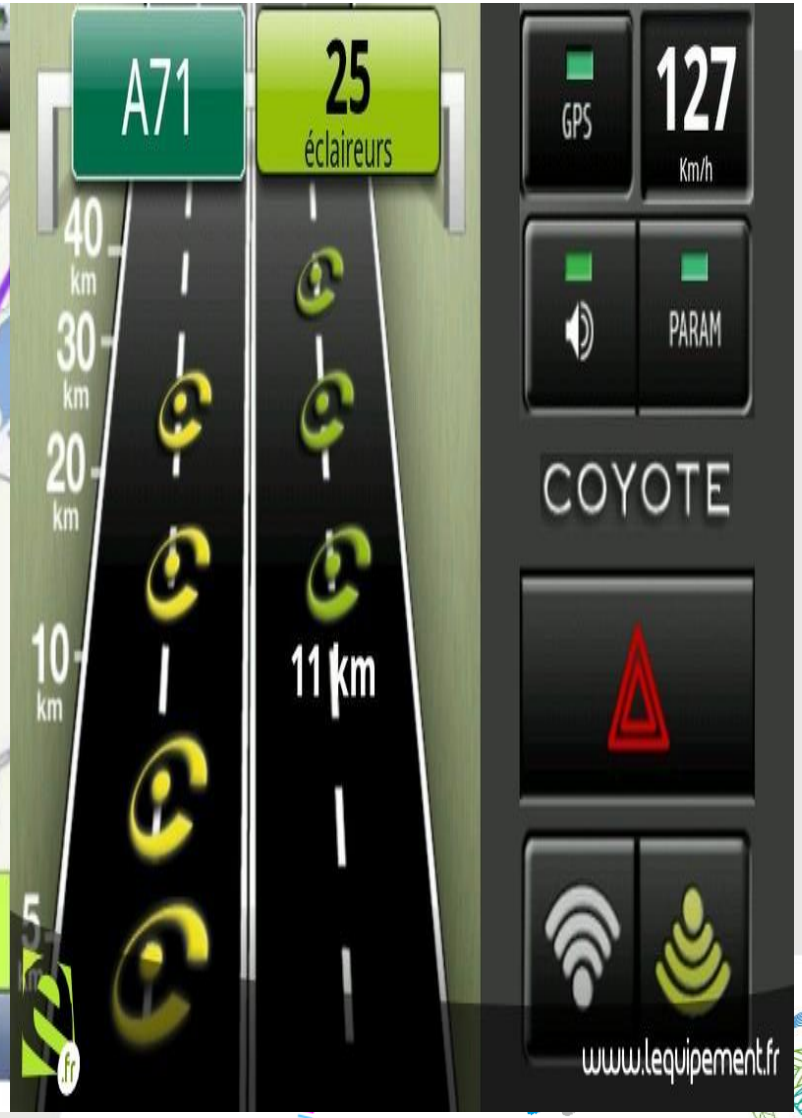
- Le début de cette convergence
  - Multiplication des smartphones et protocoles de communication
  - GPS, accéléromètre, capteur de lumière
- Les Smartphones
  - LBS (Location Based Services)
  - Informations Contextualisées
  - Paiement avec des capacités NFC
- Les voyageurs intelligents

NFC

UNIVERSITÉ DE LYON

ENTPE

Crowd sourcing



Merci et à bientôt.