

# Chaire ParisTech

## Eco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures

### Impacts des transports

Conférence du 17 janvier 2011



**MOBILITÉ**

# Impact des transports

Conférence du 17 janvier 2011  
Rueil

# Programme de la soirée

- ***Introduction : principes d'éco-conception***
  - Ci-après
- **Indicateurs de congestion**
  - Par Aurélien Duret, ex LICIT
- **Flux de trafic et émission d'impacts**
  - Par Vincent Aguiléra et Antoine Tordeux, LVMT
- **Éco-circulation du trafic**
  - Par Thai-Phu Nguyen, LVMT





## Conférence du 17 janvier 2011 « L'impact des transports »

Cette conférence sur « l'impact des transports » aurait pu s'intituler « impacts » au pluriel des transports, tenant ainsi compte de la grande diversité de ces derniers. Afin de les minimiser, la démarche d'éco-conception doit évoluer vers une perspective intégratrice et systémique, en intégrant aussi bien l'infrastructure que l'ensemble bâti dans un territoire, mais aussi un volet environnemental, social et économique. Ces questions se situent aujourd'hui au cœur de l'actualité et la chaire VINCI ParisTech a pour vocation de faciliter l'aide à la décision grâce à son évaluation multicritère.

### *Les impacts des stratégies de gestion sur le trafic routier*

Le phénomène de sous utilisation de la voie de droite contribue à la congestion des infrastructures de transport. Le trafic se répartit différemment sur les trois voies selon la densité de circulation.



A mesure que la densité de trafic augmente, la voie rapide est de plus en plus utilisée, la voie lente l'est proportionnellement de moins en moins et la voie centrale accueille une proportion de trafic plutôt stable. Or, les études réalisées sur l'A7 démontrent que la composition du trafic et la vitesse des véhicules influent sur le débit de la voie de droite. De ce fait, la mise en place de régulations par l'opérateur, comme l'interdiction de la circulation des poids-lourds et la mise en place de limitations de vitesse, vont permettre une augmentation du débit maximum de la voie lente. Ainsi, le phénomène de congestion sera retardé.

### *Les indicateurs de congestion et l'évaluation de mesures de régulation de vitesse*

La gestion dynamique permet de fluidifier le trafic et d'optimiser le parcours des usagers. Ce type de gestion apporte également des bénéfices en termes d'impacts environnementaux et de sécurité routière. Afin d'optimiser la gestion dynamique du trafic, des indicateurs de congestion sont nécessaires. L'outil Temps de Parcours Usager (TPU) est de ce fait développé en collaboration avec ASF pour permettre de mener des analyses dynamiques de la congestion, sur des échelles spatio-temporelles reflétant la qualité de service offerte aux usagers.

### *Modélisation des émissions de polluants dues au trafic routier*

Il existe différents modèles d'estimation des émissions polluantes le plus reconnu étant le modèle COPERT. Ce dernier est un modèle macroscopique et la question se pose de savoir si cet outil est assez précis pour évaluer les bénéfices d'un système de gestion du trafic. L'étude révèle que les modèles basés sur la vitesse moyenne ne sont pas suffisamment précis pour estimer l'impact de certaines stratégies d'exploitation du trafic, notamment la régulation de la vitesse maximale. Considérer que la vitesse moyenne est un mélange de deux modes apparaît être un compromis raisonnable.



## **Ouverture**

**Géraldine Thomas-Vallejo**, *animatrice de la conférence*

Bienvenue à la conférence de la chaire Eco-Conception sur le thème « Impact des transports ». Merci d'être venu à cette soirée qui, je l'espère, vous apportera des informations sur ces sujets. Vous êtes là parce que vous travaillez dans les domaines du transport ou du stationnement, transport du trafic routier ou transport de l'énergie. Je vois que VINCI Energies est aussi présent.

Je fais un petit rappel sur la chaire. La chaire Eco-Conception des ensembles bâtis et des infrastructures est un partenariat de cinq ans entre VINCI et trois écoles de ParisTech qui sont les Mines, les Ponts et l'Agro. Vous êtes les premiers à avoir la nouvelle plaquette de la chaire, version 2011, qui vous rappelle les sujets traités par la chaire, les référents VINCI qui suivent ces sujets et auxquels vous pouvez demander plus de précisions, ainsi que les événements de la chaire. Cette année, nous avons cinq conférences à vous présenter, dont la première aujourd'hui. Il y en aura une le 10 mars sur les indicateurs d'éco-conception pour les quartiers durables. Nous parlerons donc quartier qui est un autre thème, avec la mobilité, de la chaire. Puis, en juin, nous parlerons d'un beau projet qu'est le cluster Descartes. Le cluster Descartes est installé à Marne-la-Vallée où se trouve l'Ecole des Ponts. Il sera le terrain d'application des outils développés dans le cadre de la chaire Eco-Conception. Ce sera donc une étude pratique. En septembre, nous parlerons des champs d'action en éco-conception et des marges de manœuvre dans chaque métier. Que signifie faire de l'éco-conception dans son métier ? Quels sont les leviers ? Ceci sera présenté par les chercheurs. Enfin, en novembre, chaque année, la chaire a une journée scientifique qui se tient non pas chez VINCI, mais dans les écoles. Cette année, elle aura lieu à l'Agro ParisTech et aura pour thème « Usages et transformations du sol ». Ces conférences ont pour objectif de faire connaître les résultats des travaux de la chaire qui sont des travaux scientifiques. Ne soyez pas étonnés du niveau scientifique de ces présentations.

Nous allons commencer avec une introduction par Fabien Leurent du laboratoire Ville Mobilité Transport. Ensuite, nous aurons trois présentations, la première sur les impacts de stratégies de gestion du trafic routier qui sera faite par Aurélien Duret, la deuxième sur les indicateurs de congestion et l'évaluation de mesures de régulation de vitesse qui sera faite par Thaï Phu Nguyen et une dernière sur la modélisation des émissions de polluants dues au trafic routier qui sera faite par Antoine Tordeux.

**Fabien Leurent**, *Laboratoire Ville Mobilité Transport, Ecole des Ponts ParisTech*

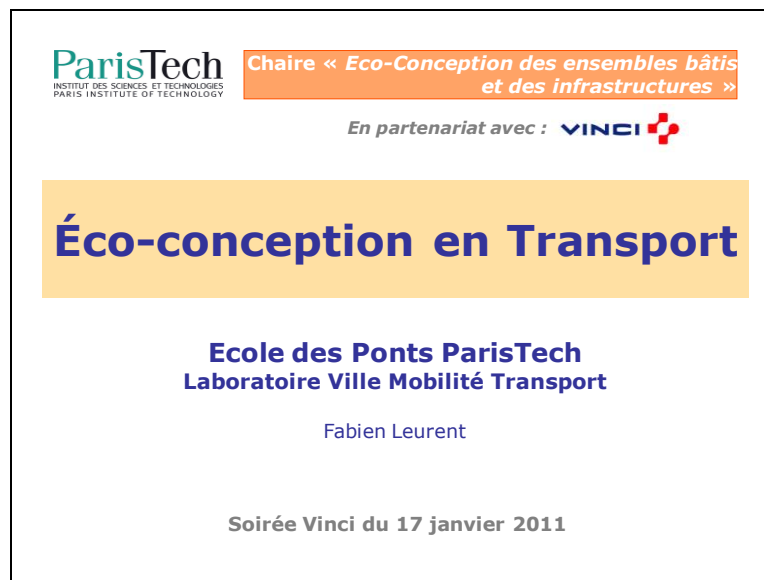
Je dois excuser Vincent Aguiléra qui a subi un décès dans son entourage familial proche vendredi dernier. Nous avons donc improvisé pour que son jeune collaborateur, Antoine, puisse le relayer sur ce thème. Il ne produira sans doute pas un exposé aussi calibré qu'aurait pu le faire Vincent, mais une chaire de recherche et de formation est aussi le lieu pour que des jeunes chercheurs se lancent. Nous allons donc le tenter.

**Géraldine Thomas-Vallejo**

Nous sommes ensemble jusqu'à 19 heures pour cette conférence qui sera suivie d'un cocktail. Je vous informe qu'aujourd'hui, tout est enregistré. Je vous demanderai donc de parler le plus possible dans le micro. Je vous passerai le micro pour que vous posiez vos questions, afin qu'il y ait des restitutions intégrales de ces conférences. Je passe tout de suite la parole à Fabien.

## **Eco-conception et transports, une introduction systémique**

**Fabien Leurent**, *Laboratoire Ville Mobilité Transport, Ecole des Ponts ParisTech*



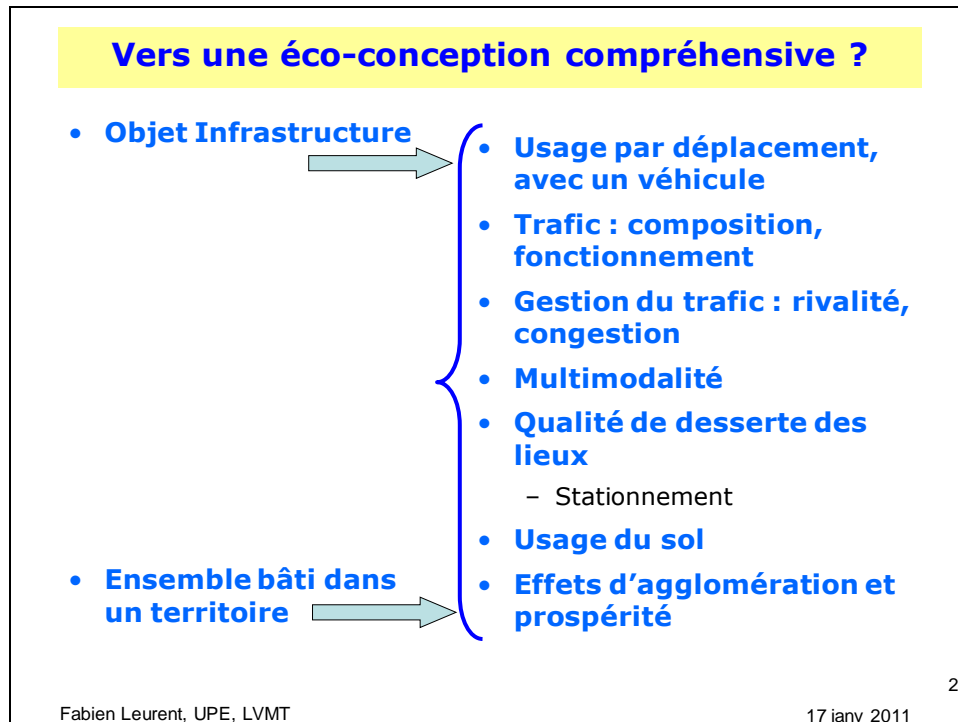
La soirée s'intitule « Impact des transports ». Nous n'avons pas mis de « s » à impact, nous aurions pu en mettre un. Ce soir, la représentation de VINCI est encore incomplète. Notamment Jean Delons de Cofiroute et Vincent Piron, grand ancien de VINCI Concessions, ne sont pas encore arrivés parce qu'ils participent à une réunion avec la Société du Grand Paris à laquelle j'ai assisté également et dans laquelle nous avons beaucoup débattu des impacts croisés entre transport et usage du sol, des effets territoriaux des transports qui se

passent dans l'espace et qui concernent la société. Le problème du logement est en particulier tout à fait significatif pour une société. Il concerne l'économie parce que se loger coûte cher, de même que se transporter. Les entreprises, comme les ménages, prennent des décisions économiques de se localiser sur un territoire en fonction de sa qualité de desserte.

Dans les impacts, il y a donc tout un volet social et économique qui souvent prime dans les problèmes de planification. Dans les grands débats publics que nous avons lancés ces dernières années, certes, la question environnementale est souvent venue au premier plan, mais elle n'est pas la seule. Les impacts sociaux et les impacts économiques viennent devant. Parfois, parmi la question des externalités au sens large qui inclurait les impacts écologiques, l'attention que l'on va donner en transport aux impacts écologiques ne suivra pas la même hiérarchie que dans d'autres domaines techniques. Nous avons déjà parlé, dans d'autres soirées, d'éco-conception en matière de bâtiments, avec des analyses de cycles de vie et le suivi systématique des impacts environnementaux. Aujourd'hui, pour la planification du transport, les impacts environnementaux considérés en tout premier lieu sont le bruit d'une part et d'autre part les émissions de polluants et les nuisances relatives à la qualité de l'air.

Dans mon introduction, je vais essayer de faire passer cette diversité d'impacts et de situer ce que peut être la responsabilité de l'éco-concepteur ou le champ d'action de l'éco-conception. La soirée est destinée à présenter des résultats de la chaire. A ce stade, ce sont plutôt les deuxième et troisième exposés qui suivront le mien qui vous montreront des travaux et des résultats de recherche portés par la chaire. Le premier exposé qui me suivra sera donné par Aurélien Duret qui a fait sa thèse de doctorat au laboratoire Ingénierie Circulation Transports. Celui-ci fait plutôt apparaître la fonction de veille scientifique de la chaire. Il est clair que nos équipes de recherche, dans le cadre de la chaire, sont peu fournies par rapport à l'ensemble des thèmes que l'on essaie d'embrasser. Nous essayons de construire aussi, mois après mois, trimestre après trimestre, une sorte de perspective d'ensemble avec les autres écoles. A trois écoles, nous couvrons une diversité de thèmes, avec les Mines sur la partie plutôt relative au bâtiment, avec l'Agro sur la partie plutôt liée à la biologie et parfois à l'agriculture proche de la ville et avec les Ponts sur les questions de transport et d'aménagement plutôt urbain. Cette relation de dialogue au long cours que nous avons nouée au sein de la chaire nous permet d'élargir sans doute nos perspectives. C'est donc ce que je vais essayer de faire ici, à savoir vous donner quelques repères pour vous indiquer où nous en sommes dans le domaine des transports.

La chaire se positionne d'une part sur l'ensemble bâti et d'autre part sur l'infrastructure. Je voudrais faire apparaître que ces deux thèmes, l'infrastructure d'un côté et l'ensemble bâti dans un territoire de l'autre, mettent sous tension tout un éventail de thèmes. Je les ai notés ici ; je crois que le graphique est suffisamment clair.



Ce sont un peu comme deux pôles qui tireraient une série de sujets. Le premier sujet va être le modèle d'usage de l'infrastructure. L'infrastructure est un objet technique qu'il faut construire, maintenir et exploiter, mais il va avoir un modèle d'usage tout à fait spécifique qui va renvoyer à un ensemble de déplacements qui utiliseront l'infrastructure. Chaque déplacement utilisera l'infrastructure, mais pas uniquement l'infrastructure. Il utilisera notamment aussi un véhicule qui fonctionnera selon certains protocoles, certaines règles d'exploitation.

Ainsi, nous ne pouvons pas borner l'éco-conception à l'objet construit. Il faut l'étendre vers d'autres aspects du déplacement : l'usage qui peut se faire au niveau individuel et qui peut se faire aussi au niveau global. Il faut donc réfléchir aux flux de trafic. Comment sont-ils composés ? Comment fonctionnent-ils ? Comment sont-ils gérés, en fonction notamment des questions de congestion ? Nous nous attarderons aujourd'hui sur cette question de gestion du trafic. Ce sera notre préoccupation essentielle. Ensuite, qui dit infrastructure dit peut-être aussi voirie, voirie sur laquelle circulent plusieurs modes de transport. Les politiques multimodales de mobilité sont un sujet important de planification aujourd'hui. Elles servent à donner de la qualité de desserte aux différents lieux sur un territoire. Elles impliquent aussi des sujets de stationnement. Comment utilise-t-on le sol ? Comment l'occupe-t-on par différentes fonctions ? Pourquoi planifier un territoire et avec quelle occupation ? En particulier aujourd'hui, cette question est au cœur du débat du Grand Paris : peut-on miser sur des économies d'agglomération dans une perspective volontariste de développement urbain ?

Lorsque nous avons mis, au départ, dans le programme de la chaire, « Infrastructures et ensembles bâtis », nous n'avions pas pensé que ces termes attireraient tout cela. En ce qui nous concerne, nous cherchons ensuite à avoir une perspective d'ensemble pour cibler quelques investigations.



Je rappelle notre perspective traditionnelle pour l'évaluation dans le domaine des transports.

## Évaluation pour l'aide à la décision

- **Problème type : la sélection d'investissement pour concevoir un projet / politique de transport**
  - Aménagement de réseau : élément d'infra ou service
  - Politique de mobilité
- **Évaluation multi-critère (circulaire 1976 etc)**
  - Effets économiques sur acteurs : dont offreur, usagers
  - Effets sur l'environnement : GES
  - Effets sociaux
- **Tradition : bilan coûts-avantages monétarisé**
  - Coûts pour l'offreur : construction, maintenance, exploitation
  - Coûts pour l'environnement
  - Coûts aux usagers
  - Avantages aux usagers : gains de temps, surplus, sécurité
  - Autres avantages : effets sur l'emploi

3

Fabien Leurent, UPE, LVMT

17 janv 2011

Dans le secteur de la construction, on a vu se développer des méthodes, notamment des analyses de cycles de vie. Pour ce qui est du transport, nous avons une méthode très traditionnelle qui part de l'évaluation technico-économique. Depuis bientôt 200 ans, on se pose la question d'évaluer les grands investissements de transport pour des aménagements de réseaux tels que la construction d'une nouvelle infrastructure. Pour les modes de transport en commun, il peut s'agir d'augmenter les fréquences de service. Cela s'est complexifié depuis une vingtaine d'années, pour simuler des politiques de mobilité. Cela reste relevable de la même démarche d'évaluation des différents impacts, mais en priorisant les effets économiques dont j'ai déjà parlé et les effets sociaux. On incorpore de plus en plus les effets sur l'environnement. Il y avait déjà des éléments relatifs à ces impacts dès la circulaire de 1976 sur l'évaluation des projets routiers en milieu interurbain, au sein du Ministère français chargé des transports. C'est a priori une évaluation multicritère, centrée sur le fonctionnement en régime courant, sur le modèle d'usage de l'objet infrastructurel, avec un débouché quasiment obligatoire pour les projets d'une certaine taille qui est de tirer un bilan monétaire des coûts et des avantages. Il faut identifier les coûts et les avantages par acteur, pour le constructeur de l'infrastructure notamment. On peut également monétariser les impacts sur l'environnement. On évalue des coûts aux usagers et on en tient compte. On regarde aussi les avantages qu'on leur procure, souvent des économies de coûts, des gains de temps, ainsi que des surplus parce qu'ils peuvent mener, grâce à cette infrastructure, des activités qui sont profitables pour eux, des effets sur l'emploi, etc.

J'ai tiré la liste des impacts qui sont pris en compte en transport et qui sont relatifs à l'environnement.

Enquête 2007 World Road Association										
	Denmark	France	New Zealand	Sweden	South Africa	United Kingdom	USA	Austria	Finland	Spain
Visual	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	No	No	No	No	No	No	No	M	No	No
Noise	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	M	M	M	M	No	M	No	M	M	No
Air Quality	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	M	M	M	M	No	M	No	M	M	No
Water Quality	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	No	No	No	No	M	No	No	M	No	No
Ecological / Biodiversity	✓	✓	✓	U/D	✓	No	✓	✓	✓	✓
	No	No	No		M	No	No	M	No	M
Geological Features	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	No	No	No	No	M	No	No	M	No	M
Agriculture /Soils	✓	✓	✓	U/D	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	No	No	M		M	No	No	M	No	M
Heritage Factors	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	No	No	No	No	No	No	No	M	No	No
Accessibility Impacts	✓	✖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✖
	No		No	No	M	No	No	No	No	
Land Use Impacts	✓	✓	✓	U/D	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	No	No	No		M	No	No	M	No	M
Health Benefits	✓	✖	✓	✓	U/D	✓	✓	✓	✓	✖
	No		M	M		No	No	M	No	
Fabien Leurent, UPE, LVMT										
17 janv 2011										

C'est une liste récente qui a été discutée dans un comité technique de l'Association internationale de la route, comité que j'ai eu l'occasion de présider entre 2003 et 2007. Nous avons réalisé une enquête internationale pour voir quels étaient les thèmes considérés dans les projets d'investissement transport et par quel type de méthodes. Le tableau vous montre la diversité des pays. Chacun a sa colonne et il y en avait bien d'autres. Environ 80 pays ont répondu. Il montre surtout les thèmes qui sont traités.

### Géraldine Thomas-Vallejo

Que signifient M et U/D dans le tableau ?

### Fabien Leurent

M signifie que l'on en donne une traduction monétaire. Vous voyez que pour la France, « M » apparaît pour le bruit et sur la qualité de l'air. En multicritère, on considère ces impacts, mais ils restent dans une batterie de critères. Quand on passe aux choses monétaires, autrement dit aux choses sérieuses, on ne les intègre pas, alors que d'autres pays sont bien en avance sur nous. En Autriche par exemple, ils ne sont pas forcément très sûrs de leur méthode d'évaluation, mais ils ne font pas rien. En tout cas, la liste de critères est très partagée par les différents pays. On sait que ce sont ces critères qu'il faut considérer pour une infrastructure de transport.

Comment cela se rapproche-t-il de ce que l'on fait dans les autres domaines, que ce soit sur l'usage des sols dans un territoire rural ou que ce soit sur un bâtiment ou un ensemble bâti dans la construction ?

## **Approche dans la Chaire EEBI**

- **Reconnaître sans réduire les aspects concrets**
  - Identifier et décrire les spécificités
- **Donner une perspective d'ensemble**
  - Analyse systémique
  - Donner toute sa portée à l'éco-conception
- **Étudier certaines parties**
  - ICV des matériaux de construction
  - Transport collectif
  - Gestion du trafic routier
  - Stationnement
  - Interaction transport - territoire

Fabien Leurent, UPE, LVMT

17 janv 2011

5

Nous avons des spécificités fortes que je vais rapidement présentées.

## **Spécificités remarquables**

- 1. Spatialité de l'infrastructure**
- 2. Historicité de l'usage**
- 3. Phénomènes de trafic**
- 4. Nature socio-économique du flux**
- 5. Opportunité face à des alternatives exogènes**

Fabien Leurent, UPE, LVMT

17 janv 2011

6

Notre chaire qui voudrait produire des indicateurs doit en fait surtout veiller à bien respecter ces spécificités pour ne pas les oublier en cours de route et ne pas être trop réductrice par rapport à la réalité des systèmes que l'on traite.

– Spatialité de l'infrastructure

## 1. Spatialité de l'infrastructure

- **Impacts locaux**

- emprise spatiale
- effet de coupure et fragmentation des habitats
- effet de cicatrice
- bruit et pollution de l'air
- sécurité
- chantier et son approvisionnement
- Avantages aux usagers
- Accessibilité, rente foncière
- Effets d'agglomération

- **Territorialité de l'usage**

- L'usage est déterminé par la position dans la configuration du territoire

7

Fabien Leurent, UPE, LVMT

17 janv 2011

Les impacts sont inscrits selon les lieux : emprise spatiale, effet de coupure, etc. Ces impacts sont pour la plupart localisés au voisinage de l'infrastructure. Les émissions de gaz à effet de serre vont certes avoir une échelle planétaire, mais la plupart de ces impacts se tiennent au voisinage de l'infrastructure, ce qui est tout à fait spécifique par rapport à l'éco-conception.

Dans le cadre de l'écologie industrielle, une fois que le produit sort de l'usine, il va n'importe où et on oublie complètement son lieu. D'une part, les impacts sont donc localisés. D'autre part, l'usage dépend de la situation dans le territoire. Lorsqu'on produit une voiture, on suppose qu'elle va être utilisée avec un certain kilométrage annuel. On s'arrête là en ce qui concerne l'éco-conception de la voiture. Si l'on construit une route, en fonction de sa position dans une agglomération, dans tel pays, à tel endroit, son usage peut être de 1, 10 ou 100. Cela dépend du territoire. Il faut donc faire attention au contexte territorial particulier de l'objet sur lequel on travaille. Cela fait partie de la spatialité de l'infrastructure.

## – Historicité de l'usage

## 2. Historicité de l'usage

- **L'usage**
  - Foisonnement : non pas UN mais DES usages
  - Mutualisation de la ressource
- **Évolution de l'usage dans le temps**
  - Évolution du volume de trafic
  - Évolution de la composition en véhicules
- **Histoire conjointe**
  - avec l'infrastructure, son aménagement et son exploitation
  - Avec le territoire et les conditions économiques générales
  - Avec les technologies, les véhicules

Fabien Leurent, UPE, LVMT
8  
17 janv 2011

L'usage va toujours avoir une historicité. Il dépend de l'époque et compte tenu de la durée de vie très longue d'une infrastructure, il va se transformer. Je rappelle en premier lieu que cet usage est a priori un ensemble de consommations individuelles qui sont consolidées pour utiliser l'infrastructure. Il y a donc des aspects temporels tout à fait forts qu'il faut considérer aussi. Chaque cas d'application va être spécifique.

## – Les phénomènes de trafic

## 3. Phénomènes de trafic

- **Contrainte de capacité**
  - L'espace de circulation à un instant donné est une ressource à occuper
- **Lois de congestion**
  - l'occupation d'un point donné à un instant donné par un véhicule est exclusive
  - Congestion : le déplacement d'un mobile gêne ceux des autres
- **Sur un territoire passablement équipé, les effets de décongestion déterminent l'ampleur des avantages d'un projet**

Fabien Leurent, UPE, LVMT
9  
17 janv 2011



Il y a des contraintes de capacité sur nos ressources. Une infrastructure routière par exemple a un certain nombre de files de circulation. Dans chaque file de circulation, chaque point courant est une ressource dans l'espace qui va être demandée par ses utilisateurs. Il ne pourra y avoir qu'un véhicule par point à un instant donné. S'il y a beaucoup de véhicules, il va y avoir une congestion. Nous y reviendrons plus amplement aujourd'hui. Il faut considérer cet effet et il n'apparaît pas sur des objets à caractère individuel. Dans la conception d'une voiture, on ne fait pas attention au nombre de voyageurs que l'on cherche à tasser à l'intérieur. Cela n'a pas de sens. En revanche, sur une infrastructure, qu'elle soit routière ou de transport collectif, cela a du sens.

– La nature socio-économique du flux

#### 4. Nature socio-économique du flux

- **« Ductibilité » du flux de trafic**
  - Ductilité : le flux local peut être « étiré », réparti dans le temps
  - « Ductibilité » : orientation d'itinéraire
- **Malléabilité du volume de demande**
  - Information, tarification
  - Action sur les facteurs de mobilité : aménagement dans l'espace et dans le temps des activités qui motivent les déplacements
- **Instruments SOFT ou HARD de management**
  - Effets potentiellement équivalents : entre une action tarifaire et un investissement matériel
    - Ex. sur un impact environnemental particulier

Fabien Leurent, UPE, LVMT

17 janv 2011

10

L'usage est important. Des transformations sont possibles. L'usage et le temps ne sont pas les seuls à influencer l'usage. Il y a aussi une série de dispositifs de gestion. L'orientation du flux sur des itinéraires par exemple participe à sa conduite. La modulation temporelle des péages et le fait que l'on étire dans le temps un flux local font partie aussi de cette propriété. Le mot « ductibilité » n'est pas dans le dictionnaire, mais désigne la possibilité de conduire le flux. Cela peut se faire sur le flux, mais aussi plus en amont, sur les désirs de déplacement, sur les volumes de demandes qui ne se sont pas encore exprimés et que l'on pourrait toucher avec de l'information en temps a priori, sur la base de laquelle les usagers pourraient choisir de ne pas se déplacer ou de se déplacer à un autre moment. L'usage réagit à cela, ce qui veut dire que parmi nos instruments de management, nous avons du Soft au même niveau que du Hard. Lorsqu'on mesure la performance énergétique d'un bâtiment, la plupart des mesures vont être du Hard, tel que mettre du double vitrage ou de la ventilation double flux, etc. On prend une disposition physique à laquelle sont associés des matériaux. On va calculer ce qui se passe en construction. Dans le domaine des transports, il y a des variables que je rangerai dans le Soft et qui vont avoir le même type d'effets sur les impacts environnementaux. Si on met un péage

qui réduit le trafic, on réduit ipso facto les émissions polluantes. Pour l'utilisateur et pour le niveau d'usage, l'important est d'avoir pris cette décision de tarifier. Il y a des impacts écologiques associés. Cela est encore spécifique aux infrastructures de transport et se voit moins sur les autres thèmes de mes collègues.

- L'opportunité par rapport à des alternatives exogènes

### 5. Opportunité face à des alternatives exogènes

- **Pour un voyageur**
  - Se déplacer, ou interagir par un autre médium (télécom)
  - ou mener une autre activité
- **Pour une collectivité**
  - Un projet de transport ou un autre
  - Ou intervenir dans un autre secteur

Fabien Leurent, UPE, LVMT

11

17 janv 2011

A priori, un bâtiment a une fonction telle qu'un logement. A occupation donnée, il faut un logement pour loger une famille d'une certaine taille. On va comparer les types de bâtiments. En transport, c'est moins évident, en tout cas pour ceux qui aujourd'hui, font des choix dans le système. D'une part, l'utilisateur est contraint de se déplacer pour certains motifs, pour des trajets domicile/travail, pour des affaires professionnelles. Pour d'autres motifs, il est moins contraint de se déplacer, pour aller faire des achats par exemple. Pour d'autres motifs, il pourrait tout à fait faire autre chose. Aller visiter un lieu touristique lointain, se promener près de chez soi à pied ou rester chez soi devant son ordinateur pour voyager virtuellement sont des activités différentes. Cette flexibilité, cette possibilité de report est donc peut-être plus problématique que pour d'autres domaines. Cela joue aussi pour la collectivité. Quand on fait une sélection des investissements pour la planification des infrastructures sur un territoire, en général, un projet de transport doit montrer sa vertu économique parce qu'il est mis en compétition avec d'autres projets d'investissement qui peuvent concerner par exemple des énergies renouvelables, des politiques sociales ou éducatives. Les projets sont mis en balance, ce qui élargit forcément le champ et rend les choses plus difficiles.

Il faut respecter ces spécificités.

## **Des spécificités à respecter !**

- 1. Spatialité de l'infrastructure**
- 2. Historicité de l'usage**
- 3. Phénomènes de trafic**
- 4. Nature socio-économique du flux**
- 5. Opportunité face à des alternatives exogènes**

Fabien Leurent, UPE, LVMT

17 janv 2011

12

Vous voyez que nous avons tiré un certain nombre d'aspects différents. Les présentations d'aujourd'hui seront très partielles, focalisées sur cette congestion, les impacts environnementaux qu'elle peut avoir et ses conséquences pour les usagers. Pour l'usager, la congestion conduit avant tout à des pertes de temps et à des inconforts. Nous verrons d'abord cela avant de passer au dernier exposé où Antoine nous parlera des émissions de polluants.

Pour en revenir à une perspective systémique de l'éco-conception en transport, je vous renvoie à l'exposé que j'avais fait lors de la deuxième journée anniversaire de la chaire et qui doit être disponible sur notre site web. Nous aurons l'occasion d'y revenir lors d'une soirée à la rentrée où nous verrons quel doit être le domaine d'éco-conception et pour quels acteurs pour que nous agissions collectivement afin de faire avancer nos systèmes. Je vais passer la parole à Aurélien Duret du laboratoire Ingénierie Circulation Transports.

### **Géraldine Thomas-Vallejo**

Je vous propose que l'on fasse une première série de questions après la présentation d'Aurélien.

## **Impacts de stratégies de gestion du trafic routier : les cas de l'interdiction de circuler pour les poids-lourds et de la régulation des vitesses**

**Aurélien Duret**, *Laboratoire d'Ingénierie Circulation Transports, ENTPE/INRETS*

Bonjour à tous. Merci à cette chaire, dans le cadre de sa veille scientifique, de présenter ces quelques travaux de recherche. Comme l'a dit Fabien, ces travaux de recherche sont une partie de mes travaux de thèse de doctorat que j'ai réalisée au sein du laboratoire Ingénierie Circulation Transports et qui traite globalement de l'ensemble des problèmes d'ingénierie liés à la circulation routière et autoroutière. Cette thèse a été soutenue récemment et je me permets de préciser ma nouvelle affiliation puisqu'à la suite de cette thèse, j'ai rejoint le CETE de Lyon, département Mobilités, pour également traiter des thématiques de modalisation statique et dynamique du trafic routier.

Aujourd'hui, je vais vous présenter des travaux qui concernent la régulation des vitesses sur l'autoroute A7. Je vais vous présenter une analyse de données individuelles que j'ai effectuée grâce à un recueil de données qui a été fait sur l'autoroute A7 au cours de l'été 2007, été durant lequel a été mis en place un dispositif de régulation des vitesses qui a demandé aux usagers de circuler à 110 kilomètres-heures plutôt qu'à 130 kilomètres-heures puisque visiblement, la demande était assez élevée.

**Géraldine Thomas-Vallejo**

Il y a des gens d'ASF dans la salle. L'A7 est donc un terrain connu ici. Je pense que ta présentation va beaucoup intéresser.

**Aurélien Duret**

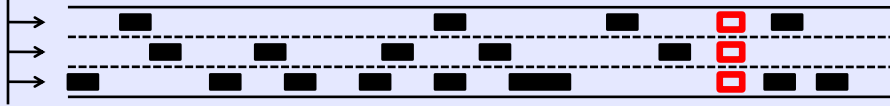
Pour ceux qui ne sont pas très familiers de ce type de données, je ferai d'abord un rappel sur les recueils classiques de données autoroutières. Généralement, on place des boucles électromagnétiques sur les voies de circulation.

**Régulation des vitesses sur l'autoroute A7 – analyse de données individuelles**

Présentation des données	<b>Analyse des débits par voie</b>	Dispositif de VSL	Analyse comportementale
--------------------------	------------------------------------	-------------------	-------------------------

## Recueil de données classiques

Données recueillies par boucles électromagnétiques



+	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Coût</li> <li>➤ Mesures de débit, vitesse, ...</li> <li>➤ Stockage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Fiabilité (pannes...)</li> <li>➤ Précision des mesures</li> <li>➤ <b>Données agrégées sur 6 minutes</b></li> <li>➤ Distance en les boucles</li> </ul>

17 Janv. 2011
Chaire Eco-conception des Ensembles Bâti et des Infrastructures
2

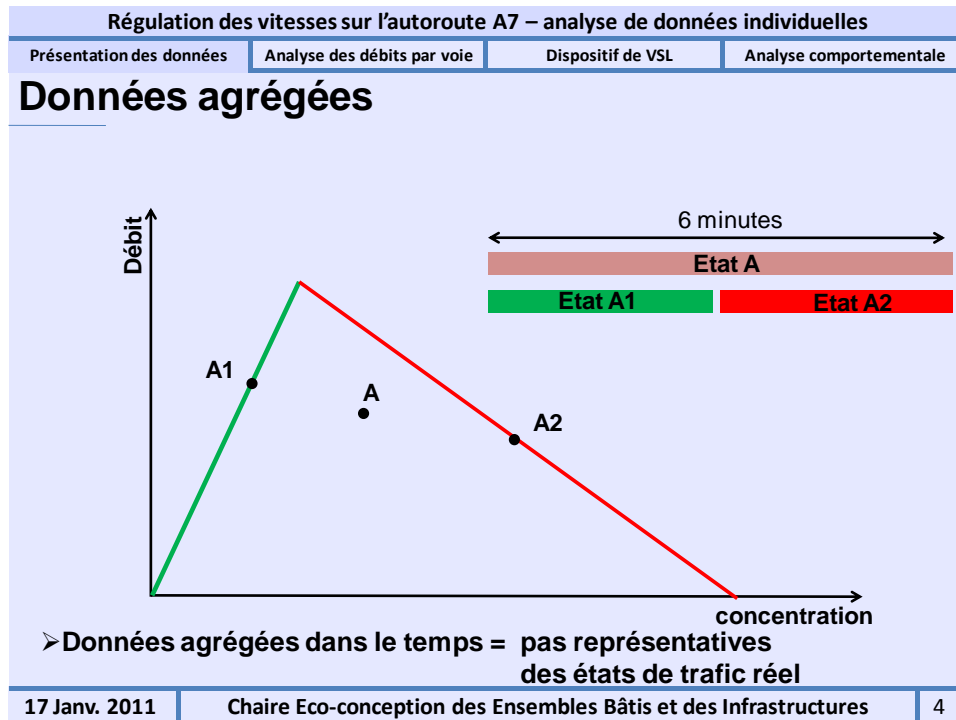
Celles-ci repèrent les passages de véhicules et ensuite, après un processus d'agrégation de données, on obtient des données qui concernent les débits et les vitesses de circulation sur l'infrastructure. Ce type de recueils a l'avantage d'avoir un coût plutôt raisonnable. Il mesure des informations d'écoulement qui sont intéressantes pour l'opérateur et qui lui permettent d'avoir connaissance des débits et des vitesses pratiqués sur son infrastructure. Il présente également un avantage de stockage puisque les données sont relativement faciles à stocker et ne sont pas trop lourdes. Par contre, il présente également des inconvénients. Les boucles électromagnétiques tombent régulièrement en panne. Les mesures sont parfois imprécises, notamment pour l'estimation des vitesses. Classiquement, en France, les données sont agrégées sur six minutes, ce qui fait que nous ne pouvons pas avoir les informations de trafic à une échelle inférieure à six minutes. Les boucles sont généralement placées à des endroits stratégiques du réseau qui ne sont pas toujours les endroits les plus stratégiques pour analyser les flux a posteriori. C'est une contrainte d'analyse à laquelle il faut se soumettre. Comme je vous l'ai dit, l'inconvénient de ces données concerne le processus d'agrégation qui généralement, agrège les données de trafic sur six minutes. Parfois, le processus d'agrégation va même au-delà puisque l'on agrège les données sur l'ensemble des voies. Par ce processus d'agrégation, on perd en finesse d'information sur l'écoulement.

Je vais illustrer cette perte de finesse très simplement en vous montrant un diagramme fondamental. Ceux qui sont familiers des problématiques d'écoulement ont certainement déjà vu ce type de graphiques. Ce type de graphiques représente les débits sur l'infrastructure en fonction des concentrations. Sur la partie de gauche du nuage de points, les débits sont plutôt faibles et correspondent aux états de trafic fluides. Toute la partie de droite, où les points sont beaucoup plus dispersés, correspond grosso modo aux états congestionnaires. Généralement, chaque point correspond à une donnée agrégée sur six minutes. Le point de capacité maximale



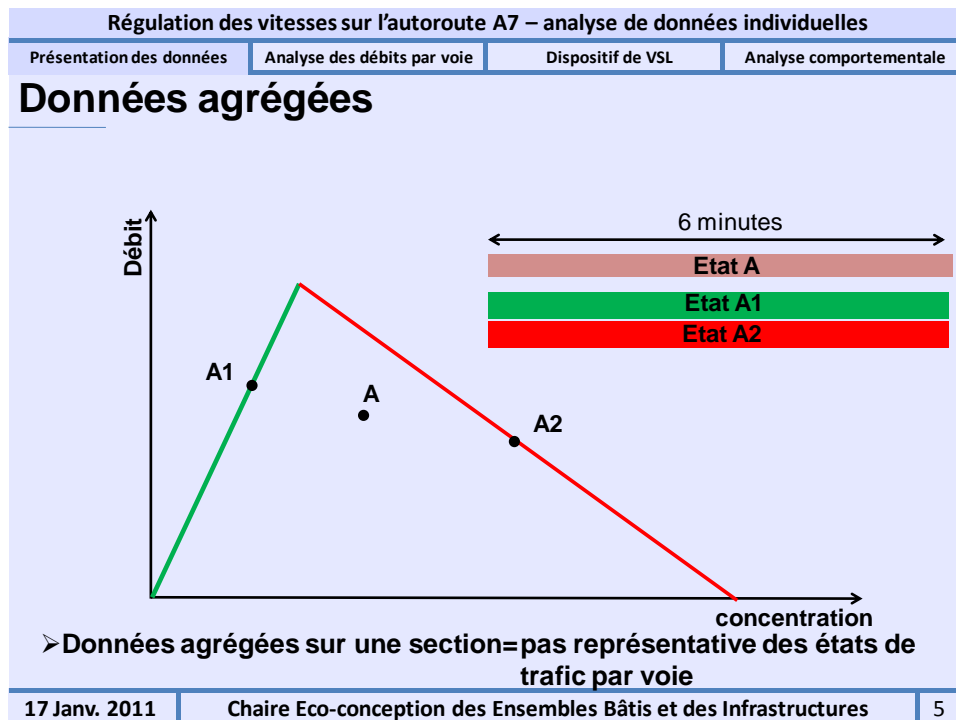
d'écoulement de l'infrastructure est situé tout en haut. Il correspond au débit maximal que peut écouler l'infrastructure.

Ce processus d'agrégation comporte l'inconvénient suivant. Considérons un point qui représente un état de trafic A, recueilli sur six minutes.



Nous pouvons très bien imaginer que sur ces six minutes, il y ait eu un état A1 et un état A2 et qu'au final, le point A ne soit pas du tout représentatif des deux états de trafic complètement différents qui se sont retrouvés sur l'infrastructure. Ainsi, si l'on agrège les données dans le temps de manière trop grossière, les informations ne sont absolument pas significatives par rapport aux états de trafic réels sur l'infrastructure.

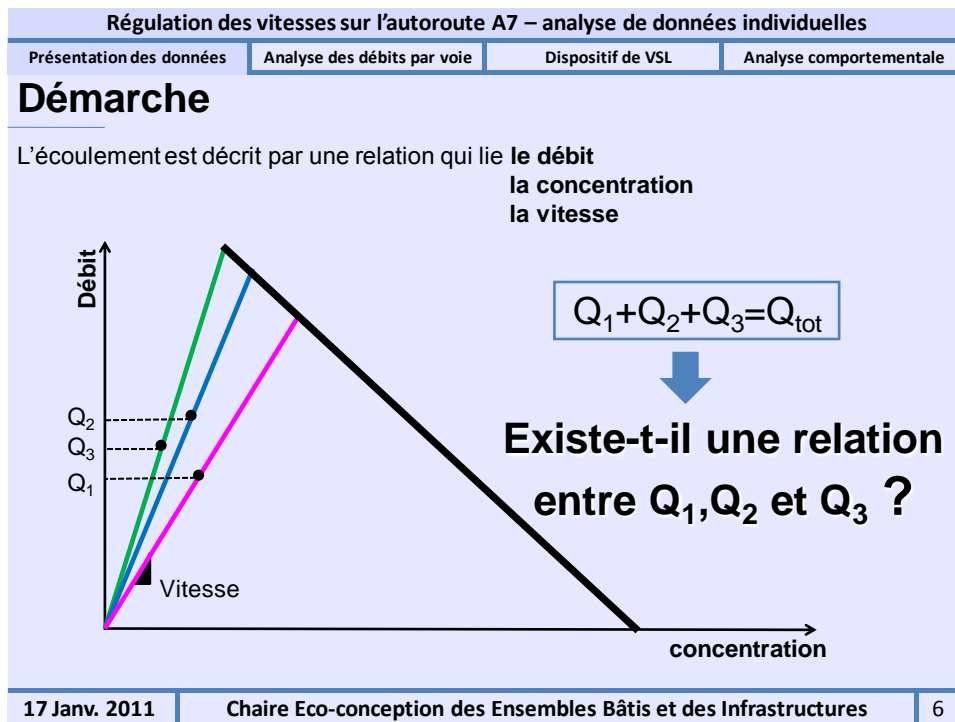
Le deuxième type d'agrégation, c'est une agrégation spatiale qui consiste à agréger les données sur l'ensemble des voies. De la même manière, si une voie a un état de trafic A1 et une autre voie un état de trafic A2, le point d'origine n'a plus de sens.



Il est donc extrêmement important d'obtenir à la fois des données fines dans le temps pour ne pas agréger trop grossièrement dans le temps et des données par voie pour tenir compte du fait que chaque voie de circulation a ses spécificités en termes d'écoulement.

Les données recueillies sur l'autoroute A7 en 2007 présentent un gros avantage. En effet, les données recueillies sont des données individuelles. Les boucles ont été calibrées pour recueillir des données individuelles de trafic sur chaque voie de circulation, en trois points kilométriques de l'autoroute A7 et dans les deux sens de circulation. Le jeu de données est donc relativement conséquent. Les données ont été recueillies sur 52 jours d'été, entre le 25 juillet et le 15 septembre. Le volume de données est donc extrêmement massif et extrêmement fin puisque nous avons les temps de passage, les vitesses individuelles de chaque véhicule et la longueur de chaque véhicule. A partir de ce jeu de données, nous avons obtenu des résultats plutôt intéressants à mon sens et sur lesquels je vous laisserai réagir.

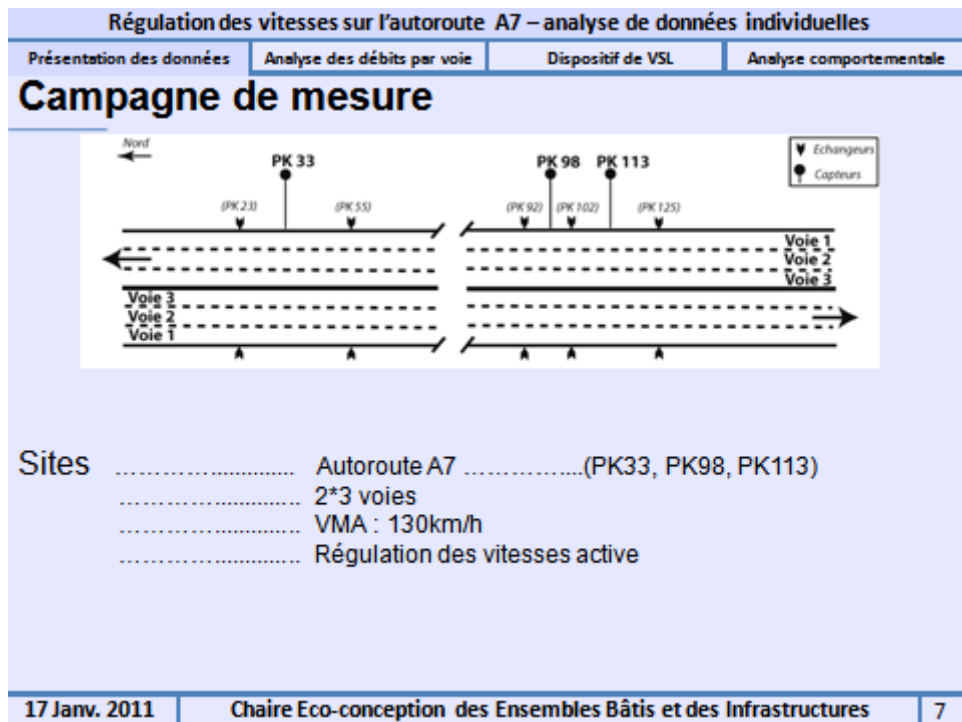
Nous avons des résultats concernant les bénéfices de la régulation de la vitesse d'une part et les bénéfices de l'interdiction des poids-lourds sur l'infrastructure d'autre part. Pour ne pas agréger les données de trafic sur l'ensemble des voies de circulation, il convient de considérer chaque voie indépendamment. Je vais beaucoup me baser sur le diagramme fondamental dont je vous ai présenté un recueil de données tout à l'heure.



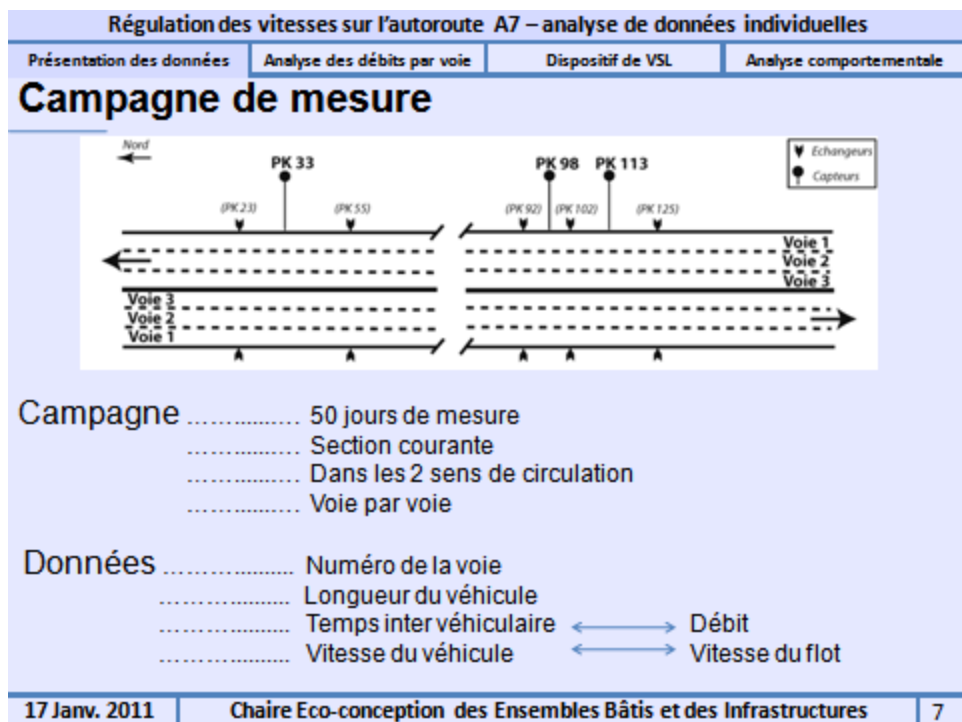
Le diagramme fondamental consiste tout simplement à reproduire les états de trafic à l'équilibre. En milieu fluide, la relation entre le débit et la concentration est linéaire puisque le rapport du débit et de la concentration est tout simplement la vitesse de circulation. Si l'on fait une différenciation voie par voie, pour la voie lente, les états d'équilibre seront décrits par cette courbe violette, avec une pente de 90 kilomètres-heures. Pour la voie centrale, la pente sera légèrement supérieure, avec une courbe entre 110 et 120 kilomètres-heures. Pour la voie rapide, la pente sera un peu plus élevée, aux alentours de 125-130 kilomètres-heures. En différenciant les comptages voie par voie, nous pouvons également recueillir les débits sur chaque voie de circulation. Ici, j'ai indiqué 1 la voie de droite, 2 la voie centrale et 3 la voie rapide. On s'aperçoit que dans ce diagramme, on peut identifier les points de fonctionnement de chaque voie de circulation.

On sait que la somme des débits, sur chaque voie de circulation, donne le débit total sur l'infrastructure, mais y a-t-il une relation entre ces trois débits, le débit de la voie lente, celui de la voie centrale et celui de la voie rapide ? A partir du jeu de données dont nous avons disposé grâce à ce recueil, nous avons essayé d'analyser en finesse le débit sur chaque voie de circulation en période fluide, pour voir d'une part quelles étaient les caractéristiques qui liaient les différents débits sur chaque voie de circulation et d'autre part comment pouvait réagir un dispositif de régulation sur les niveaux d'utilisation des voies.

J'ai fait un schéma très grossier de l'autoroute A7, tout simplement pour vous préciser que nous avons trois points kilométriques : la PK 33, le PK 98 et le PK 113. Ce sont les trois points kilométriques de mesure.

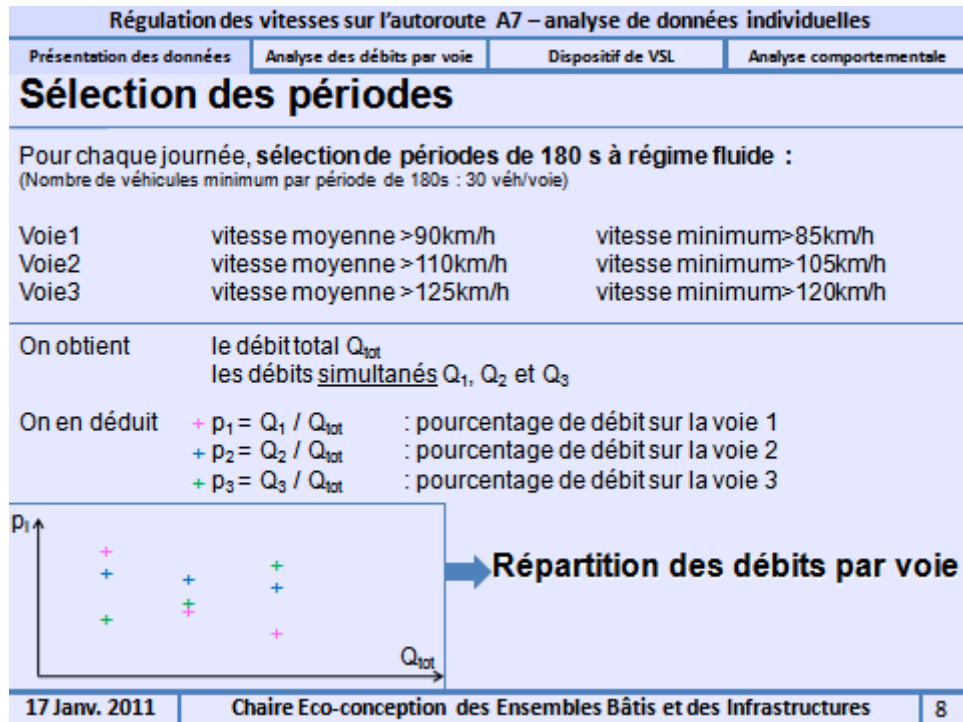


Dans les deux sens de circulation, à ces trois points kilométriques, nous avons recueilli les données. C'est une autoroute à deux fois trois voies où la vitesse maximale autorisée est de 130 kilomètres-heures, avec un dispositif de régulation actif ou pas, à la discrétion de l'opérateur de trafic. Comme je vous l'ai dit, la campagne de mesures a duré 50 jours et a consisté à recueillir les données voie par voie et en section courante. On se situe à chaque fois à plus de cinq kilomètres de la rampe d'accès ou de la bretelle de sortie la plus éloignée. Les conditions de trafic sont donc en section courante.



Je vous ai résumé les données ici. Pour chaque véhicule, nous avons son numéro de voie de circulation, sa longueur, le temps intervéhiculaire et sa vitesse individuelle. Ces deux dernières informations individuelles – temps intervéhiculaire et vitesse du véhicule – nous permettent également de recueillir des informations plus globales qui concernent l'écoulement. Les temps intervéhiculaires nous permettent de connaître localement les débits et la vitesse des véhicules nous permet de retrouver la vitesse du flot. En ayant des données individuelles et en agrégeant bien, nous pouvons faire le lien entre ce qui se passe au niveau du véhicule et ce qui se passe à l'échelle de l'écoulement.

Quelles ont été les périodes de mesure ?

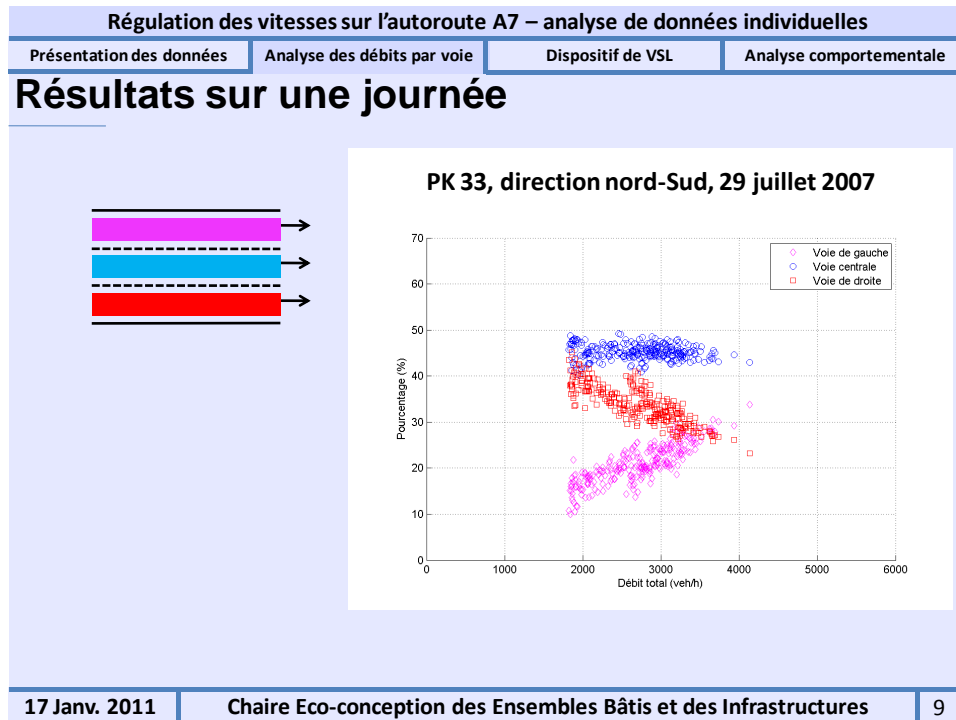


Je vous ai dit tout à l'heure qu'en agrégeant de manière systématique sur six minutes les données de trafic, les données étaient finalement très mixées en termes d'état de trafic, ce qui fait que les états moyens obtenus n'avaient que très peu de sens en termes d'équilibre du trafic. Ici, en utilisant la finesse des données, nous nous sommes limités à des périodes fluides. Nous nous sommes uniquement intéressés à l'utilisation des voies en période fluide. Pour garantir la fluidité du trafic sur ces périodes, nous avons considéré des périodes d'une minute trente et nous avons mis des seuils de vitesse moyens et des seuils de vitesse individuels sur chaque période. Nous avons été plutôt stricts sur ces seuils de vitesse. Vu le volume de données à notre disposition, nous pouvions être stricts sur ces hypothèses. Au final, malgré ces contraintes, nous obtenons des volumes de données très conséquents à traiter. Sur ces périodes de 180 secondes, nous obtenons d'une part le débit total et d'autre part le débit simultané sur chaque voie de circulation. Ainsi, nous pouvons connaître, sur les périodes de 180 secondes, les niveaux d'utilisation de chaque voie de circulation. Le niveau d'utilisation est représenté ici par les lettres P1, P2, P3 et montre le pourcentage de débit qui circule sur chaque voie de circulation. Nous pouvons par exemple représenter le niveau d'utilisation de chaque voie en fonction de la demande totale en trafic. Au fur et à mesure que la section se charge en trafic, nous pouvons représenter les niveaux d'utilisation de chaque voie de circulation et ainsi les disposer dans le graphique. Chaque point est aligné verticalement.

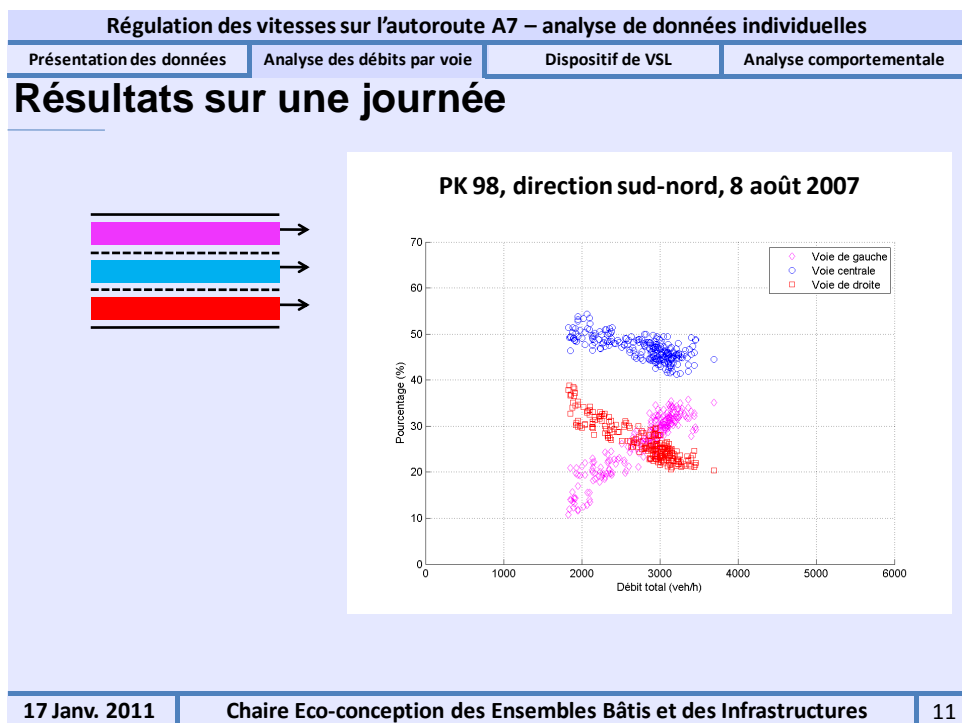
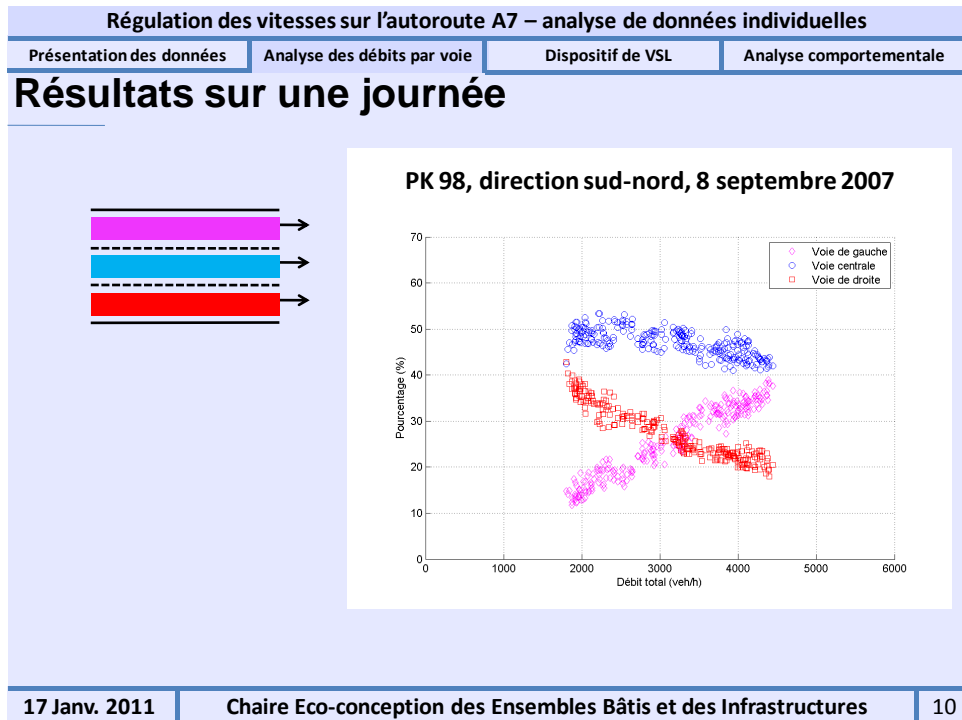


Pourquoi ? Parce que chaque point correspond à une demande totale fixe. La demande est d'abord faible à gauche et elle augmente en se concentrant sur les points plus à droite. Chaque point représente le pourcentage de débit observé pour chaque voie de circulation. Nous pouvons ainsi analyser la répartition des débits sur chaque voie de circulation et voir si cette répartition évolue à mesure que se charge la section autoroutière à trois voies.

Voici le type de résultats que l'on obtient. J'ai utilisé le jeu de couleurs suivant qui va nous suivre tout au long de la présentation. Le violet concerne la voie rapide, le bleu la voie centrale et le rouge la voie lente. Voici la répartition des débits que l'on obtient.



On constate que pour un débit aux alentours de 2 000 véhicules/heure, ce qui n'est pas un débit élevé pour une section autoroutière à trois voies, les voies centrales et lentes sont très utilisées, aux alentours de 40 %. En revanche, la voie rapide est très peu utilisée puisqu'elle est utilisée à hauteur de 20 %. A mesure que la section se charge en trafic, la voie rapide est de plus en plus utilisée en proportion, la voie lente est de moins en moins utilisée en proportion et la voie centrale accueille une proportion de trafic plutôt stable, aux alentours de 45 %. C'est un phénomène intéressant : suivant que la section est plus ou moins chargée, le trafic se répartit complètement différemment sur les trois voies de circulation. Nous pourrions penser qu'en s'approchant de la capacité de la section, le débit tente à s'homogénéiser. Or, ce n'est pas du tout ce que l'on constate ici puisque l'on constate qu'à mesure que l'on se rapproche de la capacité, les débits de la voie centrale et de la voie rapide tendent à s'homogénéiser. Si l'on continuait plus loin, les tendances se poursuivraient certainement, alors que la voie centrale accueille toujours environ 45 % du trafic. Ces données ont été recueillies le 29 juillet 2007, au point kilométrique 3, dans la direction nord-sud. Il est intéressant de constater qu'en changeant de point kilométrique, de direction et de jour, ces mêmes schémas se répètent.



## Régulation des vitesses sur l'autoroute A7 – analyse de données individuelles

Présentation des données

Analyse des débits par voie

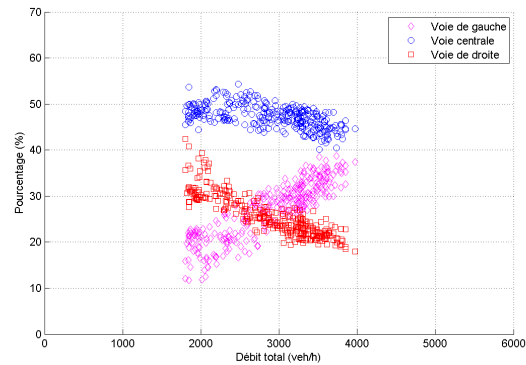
Dispositif de VSL

Analyse comportementale

## Résultats sur une journée



PK 98, direction sud-nord, 14 août 2007



17 Janv. 2011

Chaire Eco-conception des Ensembles Bâti et des Infrastructures

12

## Régulation des vitesses sur l'autoroute A7 – analyse de données individuelles

Présentation des données

Analyse des débits par voie

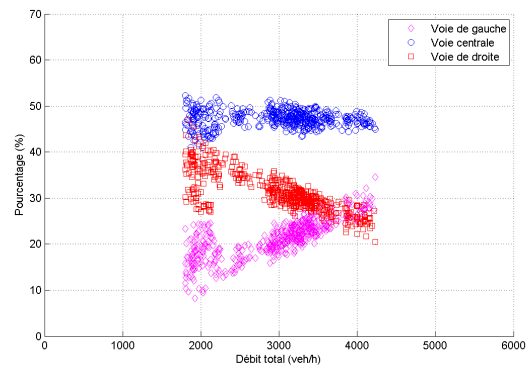
Dispositif de VSL

Analyse comportementale

## Résultats sur une journée



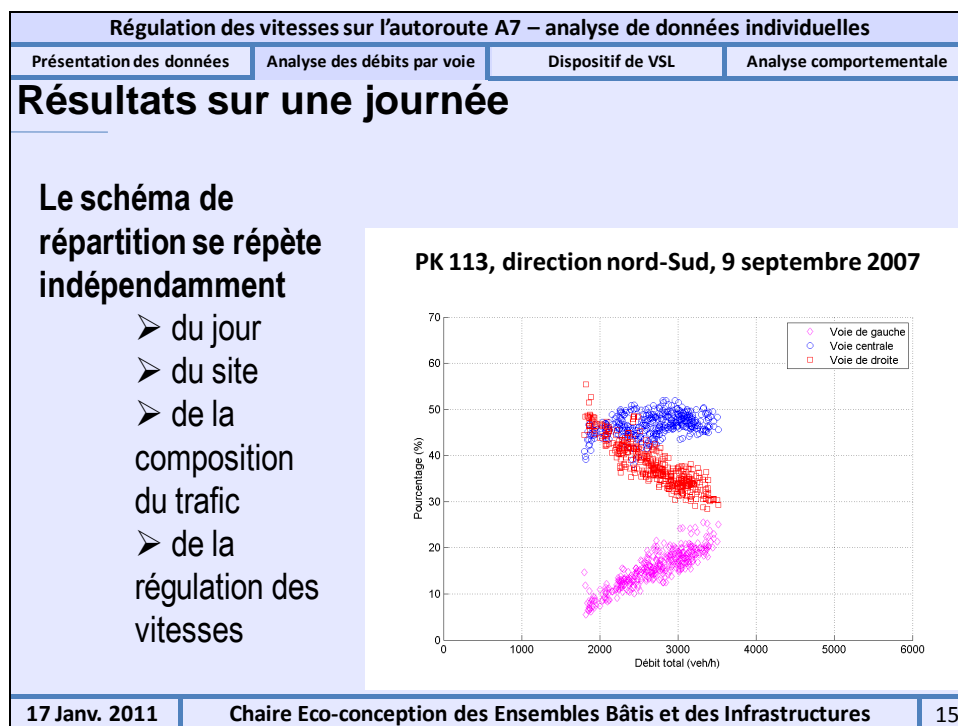
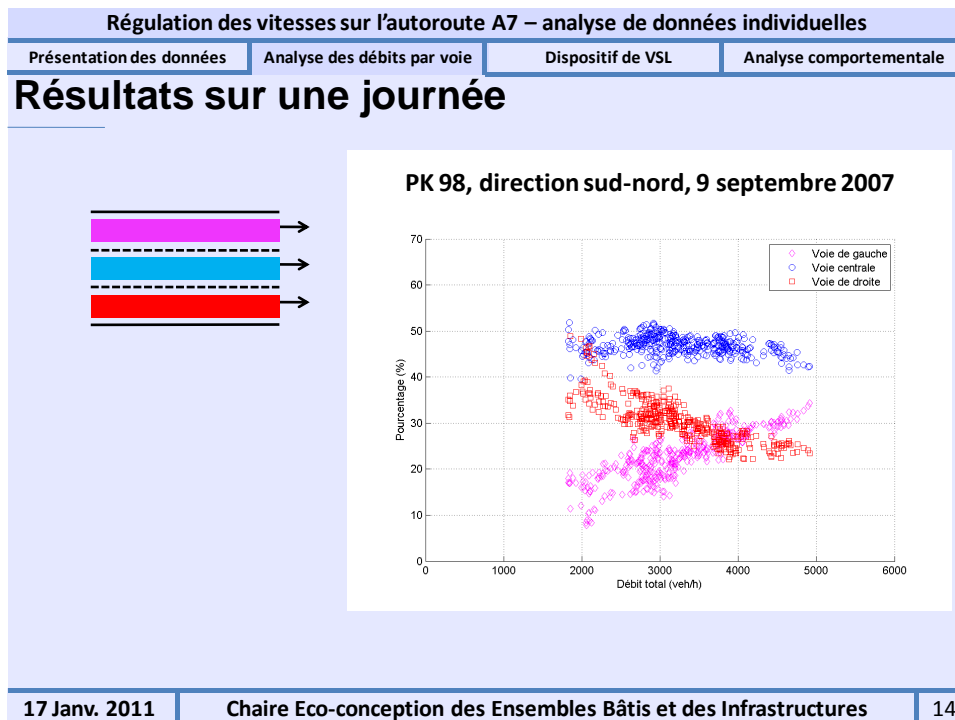
PK 98, direction sud-nord, 15 août 2007



17 Janv. 2011

Chaire Eco-conception des Ensembles Bâti et des Infrastructures

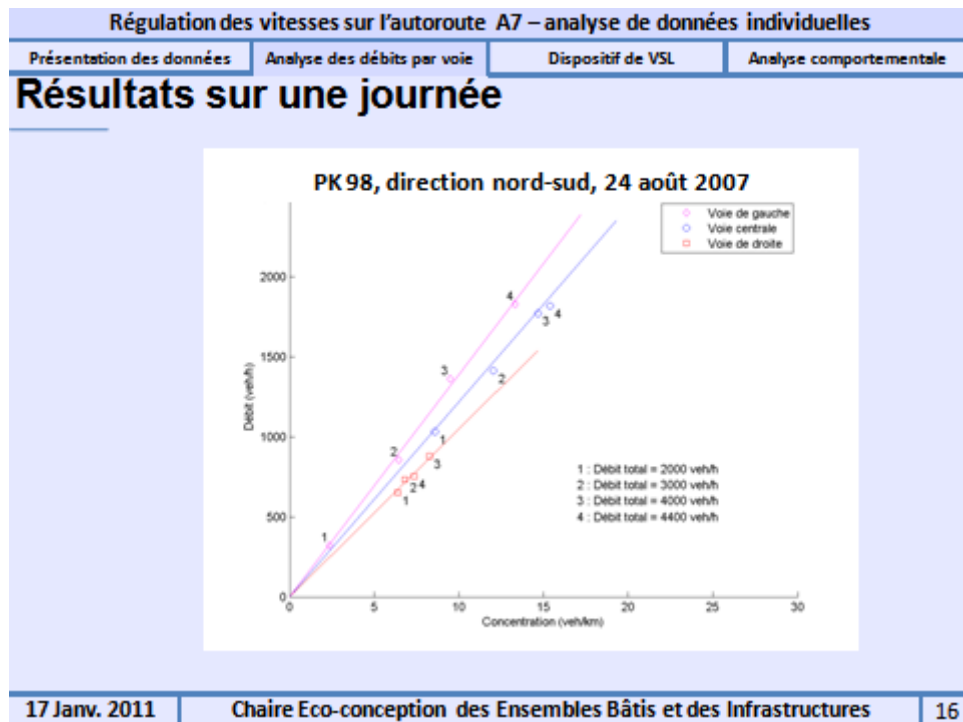
13



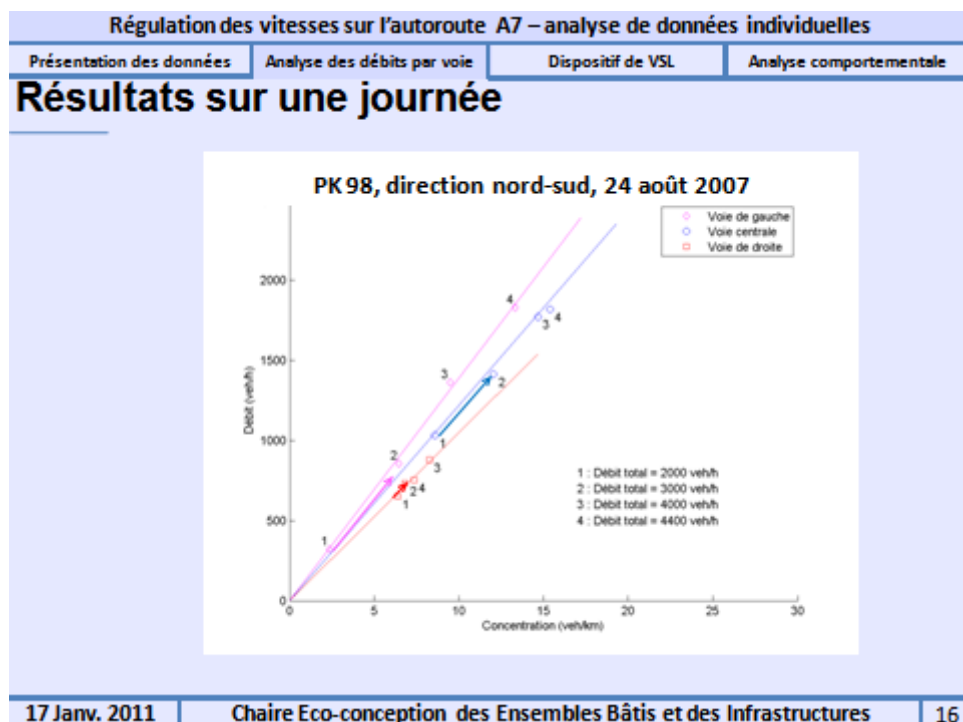
Les résultats sont donc indépendants du jour, du site, de la composition du trafic et du dispositif de régulation des vitesses.

Nous avons donc une caractéristique stable de la section autoroutière et nous pouvons nous baser sur cette caractéristique pour en tirer des conclusions en termes de qualité d'écoulement. Pour tirer cette conclusion, j'ai extrait des données issues du 24 août 2007, au PK 98, en direction nord-sud et j'ai placé sur le diagramme fondamental les points de fonctionnement de chaque voie de circulation pour différents niveaux de débit, de 2 000 véhicules/heure, 3 000,

4 000 et 4 400. Sur le premier schéma, tous les points représentent les niveaux de fonctionnement des voies lente, centrale et rapide, pour un niveau de débit de 2 000 véhicules/heure.

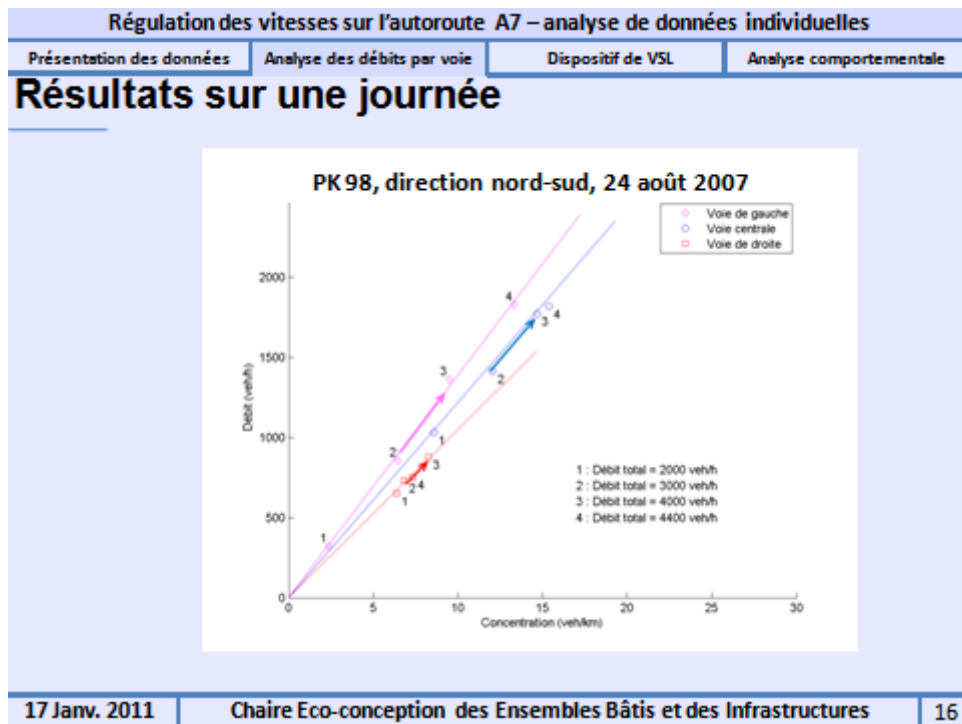


Lorsque l'on passe à un niveau de débit de 2 000 à 3 000 véhicules/heure, naturellement, chaque voie de circulation accueille un niveau de trafic un peu plus élevé.

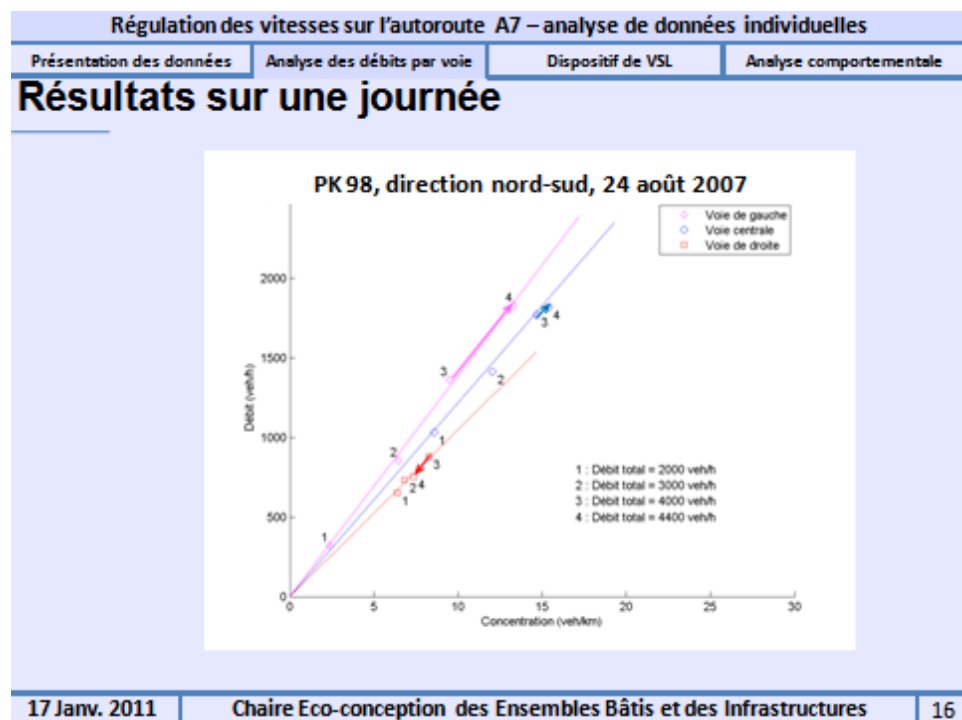




Quand le débit passe de 3 000 à 4 000 véhicules/heure, chaque voie de circulation accueille à nouveau un débit un peu plus élevé.



Quand le débit passe de 4 000 à 4 400 véhicules/heure, les voies centrale et rapide continuent de recevoir un débit un peu plus élevé ; en revanche, la voie lente commence à accueillir un débit un peu plus faible. Alors que la section autoroutière a continué à se charger, la voie lente a commencé à se décharger et les voies centrale et rapide ont continué à se charger d'autant plus.

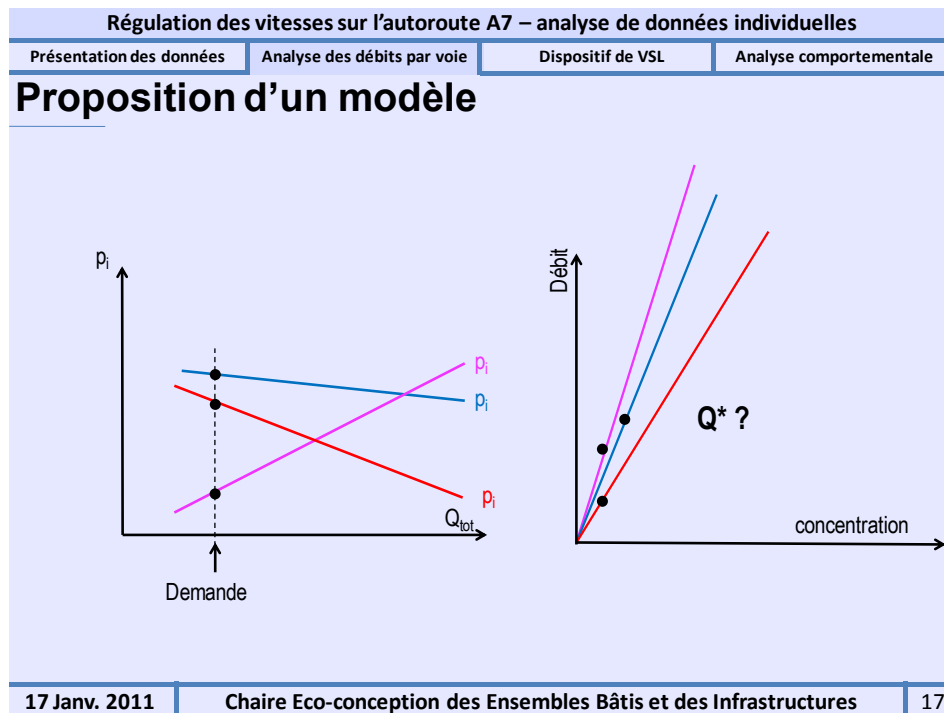


Nous pouvons ici identifier le phénomène classique de sous-utilisation de la voie de droite qui est rencontré dans la littérature, mais pour lequel il y a très peu de chiffres et très peu d'explications scientifiques car très peu de connaissances. Grâce à cette méthode de comptage, nous pouvons quantifier la sous-utilisation de la voie droite et nous pouvons également identifier le fait que le débit maximum constaté sur la voie droite est très inférieur au débit maximum constaté sur les autres voies de circulation.

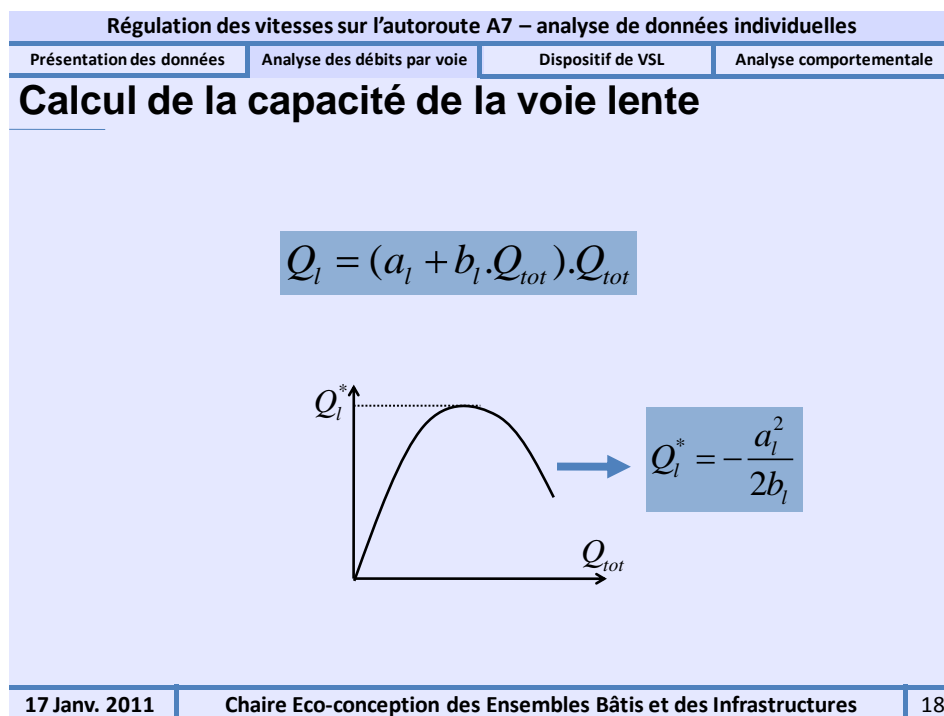
En clair, le schéma de répartition que je vous ai présenté fait apparaître des niveaux d'utilisation très inégaux, en fonction du débit total sur l'infrastructure. Il fait également apparaître le fait que la voie de droite a un débit maximum très faible, bien en-deçà de la capacité théorique que l'on attribue généralement aux voies de circulation. A titre d'information, sur l'autoroute A7, sur la voie de droite, le niveau d'écoulement maximal constaté tourne entre 900 et 1 400 véhicules/heure. C'est grosso modo la fourchette qui est constatée. Elle est très en-deçà de l'ordre de grandeur classique de 1 800 à 2 000 véhicules/heure. Enfin, ce schéma de répartition confirme la sous-utilisation de la voie de droite.

Régulation des vitesses sur l'autoroute A7 – analyse de données individuelles			
Présentation des données	Analyse des débits par voie	Dispositif de VSL	Analyse comportementale
<b>Résultats sur une journée</b>			
<p><b>Le schéma de répartition fait apparaître que</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ les niveaux d'utilisation des voies sont très inégaux</li> <li>➤ la voie de droite a un débit maximum <math>Q^*</math> très faible</li> <li>➤ un phénomène d'inversion qui confirme la sous-utilisation de la voie de droite</li> </ul>			
<p><b>Proposition d'un modèle simplifié pour représenter la répartition des débits par voie</b></p>			
17 Janv. 2011	Chaire Eco-conception des Ensembles Bâti et des Infrastructures		16

Est-ce qu'un modèle simplifié peut représenter ce phénomène de sous-utilisation de la voie de droite ? Nous avons schématisé par des droites les tendances de chaque voie que l'on a observées grâce aux données. Nous pouvons ainsi représenter les pourcentages d'utilisation de chaque voie de circulation, pour une demande en trafic donnée. En parallèle, nous pouvons placer les points de fonctionnement qui correspondent exactement aux points du graphique de gauche.

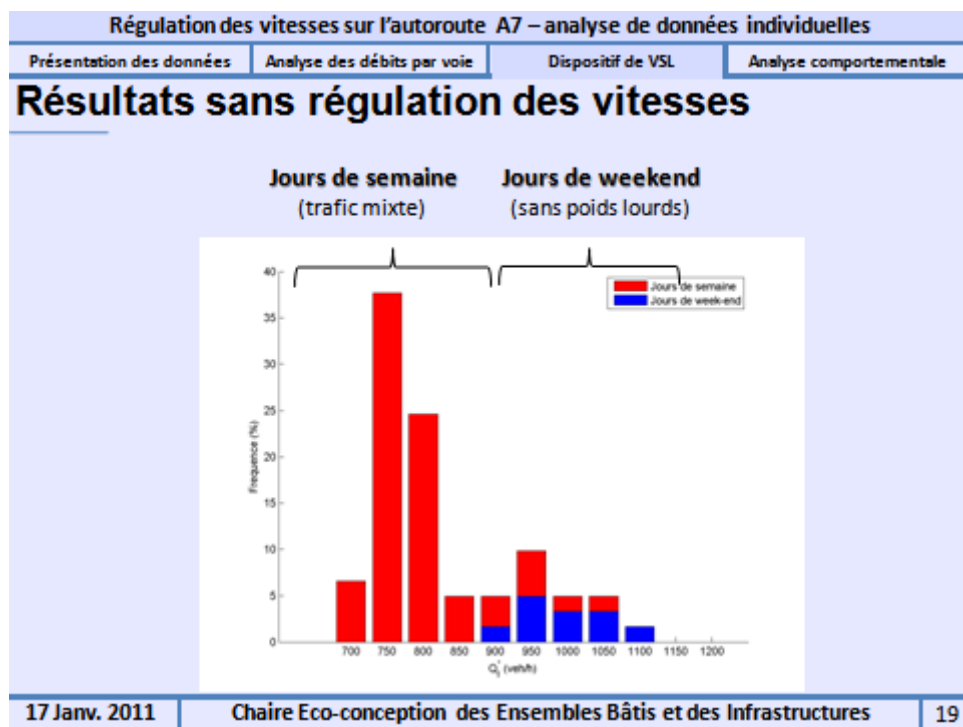


On constate qu'au fil de l'évolution de la demande, les points de fonctionnement évoluent dans les diagrammes fondamentaux de chaque voie de circulation. Ainsi, avec le graphique de gauche, avec ce modèle très simple et linéaire, nous allons sans doute être en mesure de quantifier le débit maximal de la voie de droite. Le modèle est linéaire et n'a donc rien de compliqué. Il faut simplement retenir que le débit de la voie lente est une fonction linéaire du débit total. La proportion du débit de la voie lente évolue en fonction du débit total. Nous avons juste à modifier le débit total pour avoir le débit de la voie lente. En clair, cela signifie que le débit de la voie lente suit une relation du second degré par rapport au débit total. Qui dit relation du second degré dit relation concave qui atteint un maximum.



Nous avons quantifié le débit de la voie de droite en fonction de la répartition des débits sur chaque voie de circulation. Nous avons fait cette quantification pour chaque jour de mesure sur l'autoroute A7, pour les trois sites de manière indifférenciée et dans les deux sens de circulation. Nous avons utilisé le fait qu'au cours de ces journées, a été déclenché, à la discrétion de l'opérateur, le dispositif de régulation des vitesses, à savoir que lorsque la demande commence à être élevée pour anticiper un phénomène de congestion, l'opérateur déclenche le dispositif de régulation des vitesses à titre de prévention, pour retarder l'apparition de la congestion. Quel est l'effet quantitatif de cette mesure de régulation ? Il reste très flou pour l'instant. Grâce au schéma, nous allons voir que le dispositif de régulation des vitesses change la répartition des débits sur chaque voie de circulation. Ce changement de la répartition des débits va changer le niveau maximal d'utilisation de la voie de droite et va donc permettre de mieux utiliser la voie de droite. D'après ce jeu de données, le premier bénéfice de la régulation des vitesses est de mieux utiliser la voie de droite, en incitant les véhicules à davantage l'utiliser.

Vous voyez ensuite un histogramme des débits maximaux qui sont prédits par le petit modèle linéaire pour chaque jour de recueil de données.



Régulation des vitesses sur l'autoroute A7 – analyse de données individuelles			
Présentation des données	Analyse des débits par voie	Dispositif de VSL	Analyse comportementale

## Résultats sans régulation des vitesses

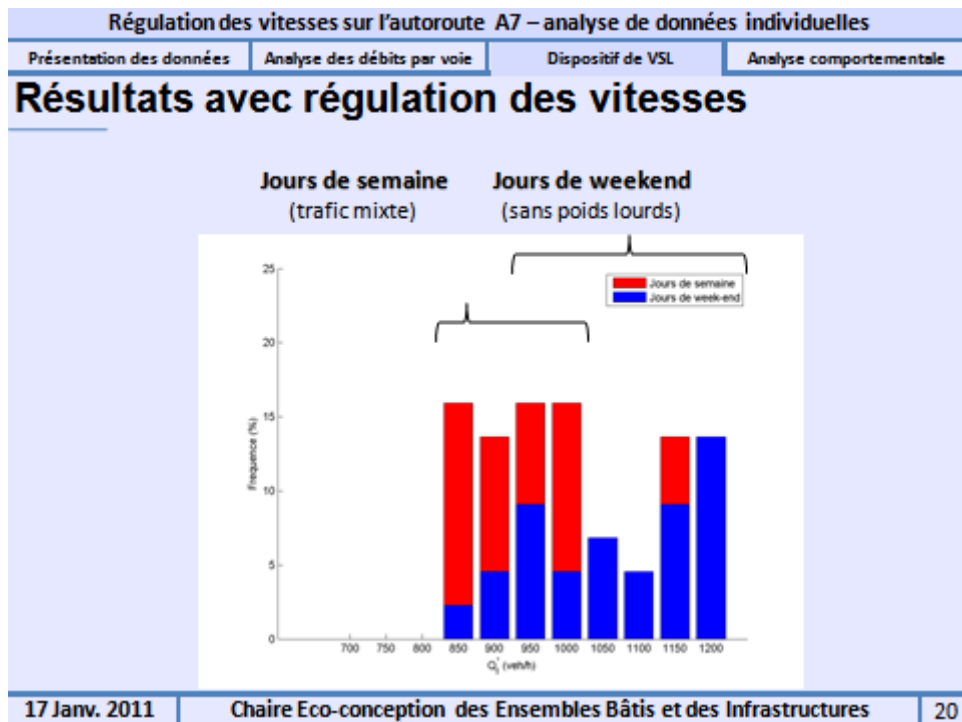
### Conclusion

**La composition du trafic  
change significativement  
le débit maximum de la voie lente**

17 Janv. 2011	Chaire Eco-conception des Ensembles Bâti et des Infrastructures	19
---------------	---	----

Pour chaque jour de recueil de données, on calcule le débit maximal auquel on peut s'attendre sur la voie de droite et sur l'ensemble des jours, on obtient une distribution telle que celle-ci. J'ai différencié les jours de semaine des jours de week-end puisque les jours de week-end, les poids-lourds sont censés ne pas circuler sur l'infrastructure. Nous pouvons identifier un impact des poids-lourds. On constate très clairement que les jours de semaine, en présence de poids-lourds, la distribution est largement centrée aux alentours de 750 à 800 véhicules/heure, ce qui signifie qu'en maintenant des conditions de trafic fluide, sur la voie de droite, il sera très difficile d'aller au-delà de ces débits. Les jours de week-end, en l'absence de poids-lourds, les niveaux d'utilisation de la voie de droite maximums sont largement supérieurs, entre 900 et 1 100 véhicules/heure. Nous identifions un clair bénéfice pour l'utilisation de la voie de droite à interdire la circulation des poids-lourds les jours de week-end puisque cette utilisation est bien meilleure lorsqu'il n'y a pas de poids-lourds sur l'infrastructure. La composition du trafic a donc une incidence sur les débits maximums de la voie de droite.

Voici les résultats obtenus lorsqu'on se concentre sur les jours durant lesquels la régulation des vitesses a été active.



On constate que la distribution est beaucoup plus à droite. En clair, les niveaux d'utilisation de la voie de droite sont plus importants lorsque la régulation des vitesses est active. On constate à nouveau que la composition du trafic joue son rôle puisqu'en l'absence de poids-lourds, les jours de week-end, la distribution est un peu plus centrée à droite. Malgré une régulation des vitesses, il semble que l'impact des poids-lourds soit un peu diminué. L'effet des poids-lourds est beaucoup moins net dans cet histogramme.

On identifie ici le fait que la régulation des vitesses augmente le débit maximum de la voie de droite et améliore ainsi les conditions de circulation puisque si l'on augmente les débits maximum sur la voie de droite, on augmente la capacité totale de la section. En augmentant la capacité totale de la section, on retarde l'apparition du phénomène de congestion.

Régulation des vitesses sur l'autoroute A7 – analyse de données individuelles			
Présentation des données	Analyse des débits par voie	Dispositif de VSL	Analyse comportementale

## Résultats avec régulation des vitesses

# Conclusion

**La régulation des vitesses  
augmente  
le débit maximum de la voie lente**

17 Janv. 2011	Chaire Eco-conception des Ensembles Bâti et des Infrastructures	20
---------------	---	----

Concernant les implications comportementales, en situation courante, la répartition des débits par voie est l'observation globale des choix individuels des voies. Si nous voulons expliquer pourquoi les voies sont plus ou moins utilisées en fonction des conditions de trafic, il faut s'intéresser aux déterminants des changements de voies. Pourquoi les usagers changent-ils de voie ? Pourquoi choisissent-ils de circuler sur telle voie plutôt que sur une autre ? En l'absence de régulation des vitesses, nous pouvons résolument penser qu'il y a des véhicules rapides et des véhicules lents, que les véhicules rapides dépassent les véhicules lents et qu'à la suite de leur manœuvre de dépassement, ils se rabattent. Lorsque le débit est trop fort, les véhicules rapides sont trop gênés par les véhicules lents et pour éviter de zigzaguer entre la voie lente et les voies rapides, ils décident de rester sur les voies rapides. La voie lente devient alors sous-utilisée puisqu'elle n'est utilisée que par des véhicules qui ne dépassent pas. Il semblerait que la régulation des vitesses agisse sur ce point.

Nous pouvons émettre des hypothèses à titre comportemental. Nous pouvons penser par exemple qu'en réduisant la vitesse maximale autorisée, les véhicules ont moins tendance à dépasser les véhicules lents puisque les vitesses sur les voies rapides sont moins favorables. Ils circuleront peut-être à 110 kilomètres/heure plutôt qu'à 130. Avec moins de manœuvres de dépassement, les véhicules restent davantage sur la voie de droite et elle est donc mieux utilisée. C'est une analyse à chaud et non des implications comportementales validées.



Régulation des vitesses sur l'autoroute A7 – analyse de données individuelles			
Présentation des données	Analyse des débits par voie	Dispositif de VSL	Analyse comportementale
<h2>Implications comportementales</h2> <p><u>La répartition des débits par voie :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- est l'observation globale des choix de voie individuels</li> <li>- les manœuvres de changement de voie explique les répartitions observées</li> </ul> <p><u>Situation courante : trafic mixte sans dispositif de régulation des vitesses</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ les véhicules se positionnent sur les voies les plus à droite</li> <li>→ véhicules gênés = manœuvres de dépassement puis de rabattement</li> <li>→ lorsque le débit est fort = pas de rabattement</li> <li>→ la voie lente sous-utilisée</li> </ul> <p><u>Sans poids lourds</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ les véhicules effectuent moins de dépassement</li> <li>→ les véhicules se rabattent plus systématiquement</li> <li>→ la voie lente est davantage utilisée</li> </ul> <p><u>Avec le dispositif de régulation des vitesses</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ les voies rapides sont moins attractives (vitesses plus faibles)</li> <li>→ les véhicules effectuent moins de manœuvres de dépassement</li> <li>→ la voie lente est davantage utilisée</li> </ul>			
17 Janv. 2011	Chaire Eco-conception des Ensembles Bâti et des Infrastructures		21

Pour conclure, je vais présenter les futures recherches.

Régulation des vitesses sur l'autoroute A7 – analyse de données individuelles		
<h2>Futures recherches</h2> <p><b>Analyse de données</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Impact d'autres dispositifs de régulation</li> <li>➤ Etudes de la répartition des débits avec 2 voies, 4 voies ou plus</li> <li>➤ Impact des règles de dépassement (comparaison Europe/US)</li> <li>➤ Impact de la présence d'une bretelle de sortie/bretelle d'entrée</li> </ul> <p><b>Etude en simulation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ validation d'un modèle dynamique de trafic multivoie (avec règle de changement de voie)</li> <li>➤ utilisation des schémas de répartition des débits par voie comme des outils de validation de modèle dynamique multivoie</li> </ul>		
17 Janv. 2011	Chaire Eco-conception des Ensembles Bâti et des Infrastructures	
		22

Le travail dont je vous ai parlé a présenté des résultats sur les niveaux d'utilisation des voies de circulation. Ces données sont peu courantes en analyses d'écoulement, ce qui veut dire qu'il existe peu de connaissances fondamentales en la matière. Dans la littérature, il y a très peu de références sur le sujet, tant pour les autoroutes à deux voies que pour les autoroutes à trois ou quatre voies. Nous avons également très peu de références sur l'absence de règles de dépassement. En Europe, la règle de dépassement nous autorise à doubler uniquement par la

gauche. Aux Etats-Unis, on peut doubler par la gauche et par la droite. Quel est l'impact de la règle de dépassement sur le niveau d'utilisation des voies ? Nous avons également très peu de références sur l'influence de la présence d'une bretelle d'insertion ou d'une bretelle de sortie sur la répartition des débits sur chaque voie de circulation.

Quelles sont les applications opérationnelles qui peuvent vous intéresser ?

Régulation des vitesses sur l'autoroute A7 – analyse de données individuelles		
<h2>Applications opérationnelles</h2> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Evaluation a priori des bénéfices du dispositif (ex: à partir de base de données historique)</li> <li>➤ Elaboration d'un outil temps réel de régulation des vitesses</li> <li>➤ Elaboration d'indicateurs d'efficacité du dispositif (ex: gain en capacité, gain total de temps de parcours)</li> <li>➤ Couplage avec d'autre dispositif de régulation (ex : avec un dispositif de régulation d'accès)</li> </ul>		
17 Janv. 2011	Chaire Eco-conception des Ensembles Bâti et des Infrastructures	23

Grâce à des études de ce type, on peut sans doute avoir un diagramme un peu plus solide sur l'évaluation a priori des bénéfices d'un dispositif de régulation des vitesses. Connaissant les niveaux d'utilisation de chaque voie de circulation, nous pouvons estimer le bénéfice de l'activation d'un dispositif de régulation des vitesses. Nous pouvons également penser à l'élaboration d'un outil temps réel de régulation des vitesses, en fonction des conditions de trafic courantes. Aujourd'hui, quelles que soient les conditions de trafic, on peut s'attendre, en approchant la capacité, à ce que la régulation des vitesses ait des bénéfices. Nous pouvons également penser à des outils qui nous permettent d'avoir des indicateurs d'efficacité du dispositif. Nous pouvons également songer à des couplages avec d'autres dispositifs de régulation. C'est ce qui va clore ma présentation. Je vais ouvrir sur le dispositif de régulation d'accès qui est de plus en plus développé en France et qui est largement développé dans certains pays, notamment en Hollande et aux Etats-Unis. La régulation d'accès consiste tout simplement à mettre un feu bicolore ou tricolore sur une bretelle d'accès à une section rapide pour laisser passer les véhicules au goutte-à-goutte et ainsi éviter que les manœuvres d'insertion ne perturbent trop le trafic. Pourquoi je vous parle de régulation d'accès dans ce cadre ? On s'aperçoit qu'en rendant actif le dispositif de régulation des vitesses, on cherche plus la voie de droite. Or la voie de droite accueille les véhicules qui s'insèrent à partir de la bretelle d'accès. On peut donc penser à un couplage qui permette d'optimiser l'insertion des véhicules issus des bretelles d'accès en utilisant avec parcimonie la voie de droite, afin de leur laisser des espaces. L'objectif global n'est pas de charger la section courante au maximum, mais également d'éviter l'apparition de congestions qui peut aussi naître de difficultés d'insertion au niveau des bretelles d'accès. Je vous remercie de votre attention.



## Régulation des vitesses sur l'autoroute A7

### Analyse de données individuelles

**Aurélien Duret**  
Aurelien.Duret@developpement-durable.gouv.fr

Ingénieur des TPE  
Docteur en Génie Civil  
Spé. Modélisation dynamique du trafic

CETE de Lyon - Département Mobilités  
Ministère de l'écologie, du développement-durable, des transports et du logement



# Merci !



### Géraldine Thomas-Vallejo

Merci beaucoup, Aurélien. Je me tourne maintenant vers l'assemblée. Avez-vous des questions ou des remarques ? Bernard Fer, est-ce que cela correspond à votre connaissance de la gestion du trafic chez ASF ?

### Bernard Fer, Société ASF

Sur l'A7, nous avons mis en place la régulation des vitesses il y a très longtemps puisque les premières expériences ont été faites en 1980. A l'époque, elle ne fonctionnait pas du tout. Nous avons évalué des résultats imperceptibles. Pour autant, nous ne sommes pas restés dans l'immobilisme puisque nous l'avons redéveloppée au début des années 2000 pour la mettre en place en 2004. Maintenant, nous continuons à le faire sur des réseaux de plus en plus étendus. Nous nous sommes demandés pourquoi cette régulation fonctionne mieux maintenant qu'en 1980. Certes, à l'époque, nous n'avions pas forcément tous les outils permettant l'automatisme voulu, mais la différence essentielle se trouve ailleurs. Elle est dans le fait que depuis les années 2000, les mesures d'interdiction de vitesses sont très suivies en France à cause d'une répression assez forte. Quand nous avons commencé à mettre en place ce dispositif, en 2004-2005, il est intéressant de voir que les automobilistes obéissaient strictement aux 110 kilomètres-heures affichés sur les panneaux. La vitesse est de fait plafonnée à 110 kilomètres-heures et la possibilité de dépasser est beaucoup moins intéressante. Nous arrivons ainsi à la conclusion qui est mesurée scientifiquement, que les automobilistes restent beaucoup plus sagement dans leur file. Finalement, le remplissage des différentes voies de circulation est beaucoup plus optimum, notamment celui de la voie lente.

Pour ma part, je suis absolument convaincu que la régulation des vitesses, dans le cas présent, est une mesure qui améliore les choses, à tel point qu'à partir d'un réseau de 60 à 70 kilomètres au départ, il fait maintenant 250 kilomètres environ et nous allons continuer encore à le faire. Cette régulation ne marche pas partout. Il faut que les autoroutes aient un fort trafic et soient plutôt à trois voies. Sur les autoroutes à deux voies, nous n'avons pas trop essayé. Dans les conditions que j'exprime, avec des forts trafics, assez bien localisés dans le

temps, etc. on retarde l'apparition des perturbations par une optimisation du trafic sur les différentes voies. Les conclusions scientifiques rejoignent bien les conditions expérimentales et ne peuvent que nous encourager à poursuivre dans cette voie.

Avant de parler de la régulation des accès, l'interdiction de dépasser des poids-lourds qui est une mesure que nous avons jointe à la régulation, est aussi d'un certain apport dans certaines conditions et duplique l'effet que l'on observe sans cela. C'est un bon résultat expérimental et une bonne mesure.

### **Géraldine Thomas-Vallejo**

Qu'en est-il de la régulation dynamique du trafic ?

### **Bernard Fer**

La régulation de vitesses est un des volets de la régulation dynamique du trafic, avec l'interdiction de dépasser des poids-lourds et la régulation des accès. La régulation des accès est un peu plus compliquée à réaliser parce que réguler les accès signifie immobiliser des automobilistes sur les accès pendant un certain temps. Nous avons commencé à le faire à partir des aires qui sont des générateurs très importants de trafic à certains moments. Là, nous maîtrisons complètement le dispositif puisque nous sommes chez nous. Nous imposons des attentes qui ne sont pas très importantes. Nous aurions envie de le faire sur les véritables accès, c'est-à-dire aux échangeurs, mais c'est plus problématique. On retient des automobilistes à l'extérieur, sur des réseaux parallèles qui sont souvent très chargés et qui peuvent difficilement se payer le luxe de faire stationner des gens en complément. Nous avons un travail de sensibilisation des autorités extérieures à faire et ce n'est pas immédiat. Pour le moment, nous n'avons pas réussi à développer la régulation des accès sur les échangeurs. Sur les accès aires, nous avons des résultats mitigés pour le moment, mais nous allons poursuivre ces expériences pour vérifier l'apport. L'ensemble de ces trois volets compose la régulation dynamique du trafic que l'on peut coupler avec de l'information sur le temps de parcours, etc. Ils sont la base de l'action directe sur l'automobiliste.

### **Aurélien Duret**

Je voudrais juste rebondir sur la régulation des vitesses pour les sections à deux voies. Dans les années 90, une régulation des vitesses avait été mise en place sur le périphérique toulousain et on s'est aperçu qu'elle avait des effets négatifs. Nous pouvons émettre l'hypothèse que sur un périphérique, les bretelles d'accès sont très resserrées, avec des débits d'insertion plutôt élevés et en chargeant davantage les voies de droite, on rend trop contraintes les insertions et la régulation des vitesses devient néfaste.

Actuellement, deux expérimentations sont dans les clous sur cette régulation des vitesses sur des sections à deux fois deux voies : une dans le sillon lorrain dans le nord et un autre au sud de Bordeaux, en direction de l'Espagne. La phase expérimentale est en préparation. D'ici les deux à trois prochaines années, nous aurons sans doute des éléments complémentaires sur les bénéfices de la régulation des vitesses sur ces sections.

### **Bernard Fer**

Je rebondis sur ce que vous venez de dire. La deuxième façon d'appréhender scientifiquement le changement des comportements est de faire des diagrammes interdistance/vitesse sur chaque voie de circulation, ce qui permet d'avoir un autre éclairage en termes de sécurité. Interdistance courte et vitesse importante sont génératrices d'accidents. Nous avons déjà fait ce genre de choses. Je me propose de vous faire passer les éléments que nous avons obtenus à ce sujet. Ils sont assez enseignants lorsqu'on les regarde sous l'angle de la sécurité plutôt que sous l'angle de l'optimisation de la circulation. On voit aussi des choses intéressantes.

**Géraldine Thomas-Vallejo**

Y a-t-il d'autres interventions ? Non. Je vous propose de passer à l'exposé suivant, avec Thaï Phu.

**Fabien Leurent**

Je dirai deux mots d'introduction. L'exposé d'Aurélien Duret nous montre bien où en est la science du trafic qui mesure davantage de phénomènes et commence à attester les influences de mesures de régulation sur le fonctionnement même du flux de trafic. Autrement dit, le cœur de l'intérêt reste le trafic en lui-même. La mécanique du trafic est encore imparfaitement connue, alors qu'en thermique par exemple, les équations de propagation de la chaleur sont à notre disposition depuis bien longtemps. Nous n'en sommes pas là dans la science du trafic. C'est encore une science jeune qui n'a que quelques décennies et qui est très incomplète. Au titre de notre veille scientifique, on constate que notre communauté traficienne est encore surtout sur ses propres fondements.


Thaï Phu va vous montrer un projet qui est spécialement inscrit dans la chaire. C'est une action spécifique qui est menée pour essayer de faire avancer l'éco-conception dans ce domaine du trafic. A ce titre, une revue bibliographique sera montrée, mais le cœur du sujet sera de voir comment mieux simuler le trafic, ce qui ouvrira ensuite le prolongement vers la simulation des impacts environnementaux.

## Indicateurs de congestion et évaluation de mesures de régulation de vitesse

Thai Phu Nguyen, *Laboratoire Ville Mobilité Transports, Ecole des Ponts ParisTech*

**Indicateur dynamique de congestion  
et évaluation de la gestion dynamique du trafic**

Soirée Vinci « *Impact environnemental du trafic routier* »  
17 janvier 2011




**Thai-Phu Nguyen**  
Laboratoire Ville Mobilité Transport,  
Université Paris-Est

Bonsoir. Ce soir, je voudrais vous parler des indicateurs de congestion et de l'évaluation de la gestion dynamique du trafic. Dans une vision un peu plus large, je vous propose une présentation en quatre parties.

**Plan de l'exposé**

- Actions de gestion dynamique du trafic
  - Gestion de l'offre
  - Gestion de la demande
- Enjeux d'évaluation
  - Impacts potentiels, dimensions spatio-temporelles
  - Disponibilité méthodologique
- Indicateur de congestion actuellement adopté
  - Niveau de service et HKM
  - Incohérence spatio-temporelle constatée
- Projet mené en collaboration avec ASF
  - Temps de Parcours Usager
  - Simulation sous LADTA Toolkit

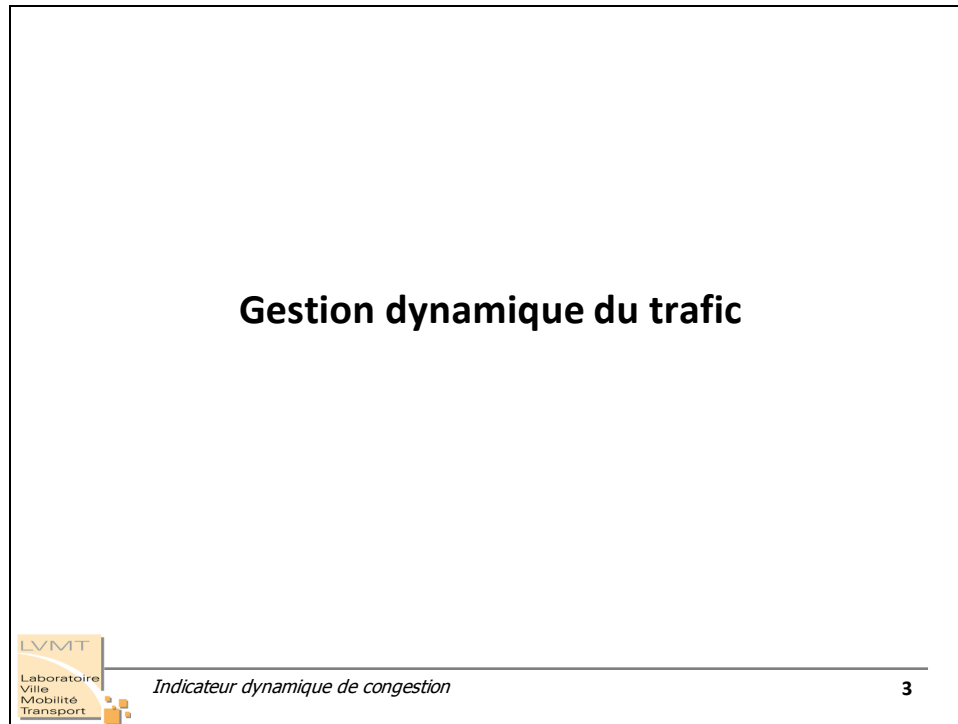


*Indicateur dynamique de congestion*

2

D'abord, je vais vous présenter une vue d'ensemble sur les mesures de gestion du trafic, puis une restitution sur les enjeux d'évaluation. Avant d'aborder un projet mené en collaboration avec ASF, je vous présenterai également une revue des indicateurs de congestion actuellement adoptés par l'Etat et par les exploitants.

## 1. Gestion dynamique du trafic



La dynamique du routier est due aux fluctuations de la demande. La demande de déplacement change au cours de la journée, avec des heures de pointe le matin et le soir et des heures creuses. La demande de déplacement change dans la semaine, en fonction des jours ouvrés et des jours fériés. La demande de déplacement change dans l'année selon les périodes de vacances, les manifestations, etc. La dynamique du trafic routier est due aussi aux restrictions de l'offre, quand il y a un accident ou un incident sur la route, des conditions météorologiques difficiles ou des travaux, etc. La gestion dynamique du trafic est donc l'adaptation dynamique du système à la demande ou consiste à influencer la demande pour avoir une distribution spatio-temporelle optimale.



## Dynamique du trafic routier

- **Fluctuations de la demande**
    - L'année: périodes de vacance, manifestations
    - Dans la semaine: jours ouvriers, jours fériés
    - Dans la journée: HPM, HPS, HC
  - **Restrictions de l'offre**
    - Incidents, accidents
    - Conditions météorologiques
    - Travaux, manifestations
- ➡ **Gestion dynamique du trafic**
- Adaptation dynamique du système à la demande
  - Influence sur la distribution spatio-temporelle de la demande

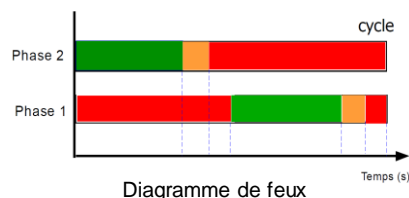


Indicateur dynamique de congestion

4

La mesure de gestion dynamique la plus ancienne consiste à mettre des feux aux intersections. En imposant un phasage pour séparer les flux de véhicules, on peut réduire les conflits entre les flux de trafic. L'enjeu est ici de limiter le temps d'attente des véhicules et de mieux coordonner les feux. Un sujet d'actualité consiste aussi aujourd'hui à favoriser les transports collectifs et les modes doux.

## Feux à intersection



- **Objectif**
  - Réduire les conflits entre flux de trafic
- **Action**
  - Séparer les flux de véhicules
- **Enjeux**
  - Minimiser les temps d'attente
  - Coordonner des feux
  - Favoriser les TC et les modes doux




Indicateur dynamique de congestion

5

La deuxième mesure de gestion du trafic, c'est la régulation des vitesses. Elle vise à optimiser l'écoulement du trafic sur la section principale en maintenant l'état de trafic sur une zone optimale et en limitant le débit d'accès à une entrée autoroutière. L'objectif de la régulation des vitesses est d'optimiser l'écoulement du trafic sur la section principale en limitant la vitesse autorisée pour étaler la formation des bouchons en amont des points critiques. Comme la régulation d'accès, la régulation des vitesses comporte des enjeux en termes d'équité des usagers parce que la relation d'accès et la relation de vitesse sont deux mesures étendues dans l'espace qui concernent plus d'usagers, plus d'origines-destinations.


Une autre mesure concerne l'allocation dynamique des voies. Je vous montre une photo de l'A86. Quand le trafic est très fort, on ouvre la voie auxiliaire à la circulation des véhicules. Cette mesure a un enjeu très important en matière de sécurité et du rythme de gestion du trafic.

### Allocation dynamique de voies (1/2)



The photo shows a highway interchange with electronic signs. The left sign displays 'A86 - N1041 - 110M' and 'A86403 - 1 - FLUIDE'. The right sign displays 'VOIE AUXILIAIRE' and 'FERMEE'. A 90 km/h speed limit sign is visible on the right side of the road.

- Objectif
  - Adapter l'offre à la demande
- Action
  - Allouer dynamiquement une voie auxiliaire en fonction des conditions du trafic
- Enjeux
  - Opération : sécurité, activation/désactivation



Laboratoire  
Ville  
Mobilité  
Transport

*Indicateur dynamique de congestion*

8

A quel moment faut-il activer et désactiver le dispositif ? Vous voyez un autre exemple d'allocation dynamique des voies où une voie est réservée aux véhicules de transport en commun, aux véhicules qui transportent plus d'une personne ou aux véhicules qui acceptent de payer un petit péage. Je voudrais rappeler que dans ce genre de mesures de gestion du trafic, la problématique d'équité des usagers est toujours très importante parce que ce genre de mesures favorise certaines catégories d'usagers et en défavorise d'autres.

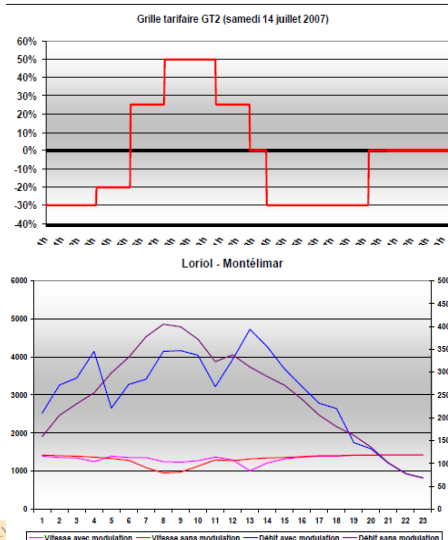
## Allocation dynamique de voies (2/2)



- Objectif
  - Différencier les usagers -> optimiser la demande
- Action
  - Allouer dynamiquement des voies à certaines catégories de véhicule
- Enjeux
  - Opération : sécurité, activation/désactivation
  - Equité des usagers

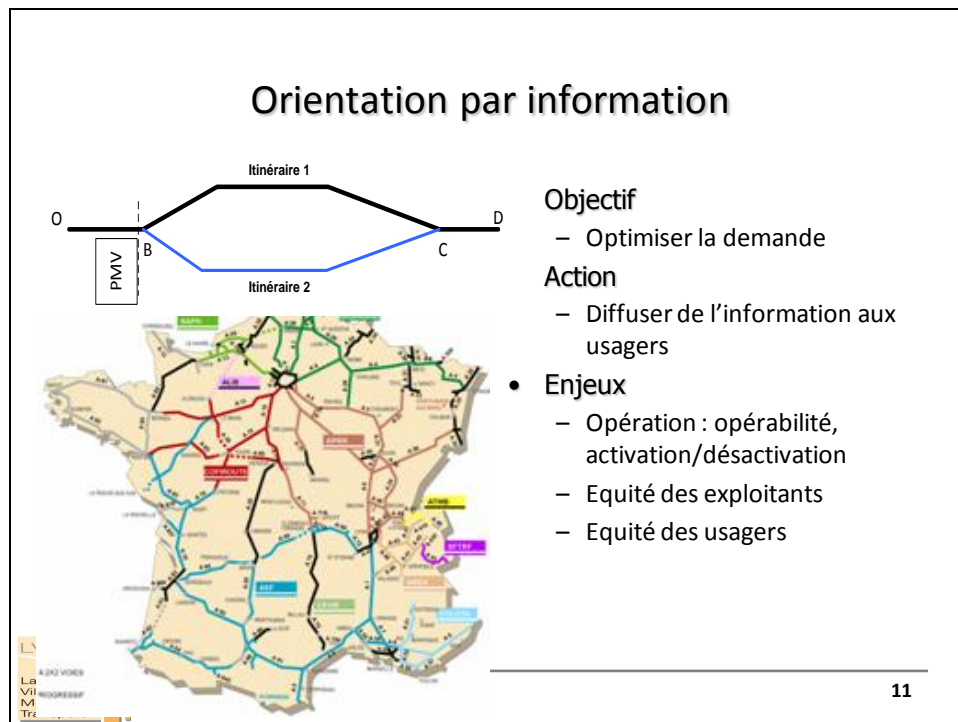
En parallèle des mesures de contrôle de trafic, il y a des mesures qui visent à influencer la demande, la distribution temporelle et spatiale de la demande. C'est le cas de la tarification de la congestion. J'ai pris un exemple qui est toujours étudié : l'application de la modulation tarifaire sur le corridor de la vallée du Rhône. Si on différencie les tarifs de péage dans le temps, on peut modifier la demande de déplacement sur le corridor. La courbe bleue représente la demande et elle est modifiée si on applique une modulation de tarifs.

## Tarification de la congestion



- Objectif
  - Optimiser la distribution temporelle/ spatiale la demande
- Action
  - Moduler le péage en fonction du niveau de congestion
- Enjeux
  - Opération : sécurité, activation/désactivation
  - Equité des usagers

Une autre mesure de gestion dynamique du trafic peut être envisagée, à savoir l'orientation des usagers par information. Sur un réseau avec une origine et une destination, avec un itinéraire reliant origine et destination, un dispositif peut être mis en place pour informer les usagers. S'il y a un accident sur la première route, on peut inciter l'utilisateur à prendre la deuxième route et éviter ainsi la formation de congestions sur l'ensemble du réseau. Je pense que cette mesure a un enjeu important en termes d'opérabilité entre les différents exploitants de l'ensemble du réseau national. Je vous montre la carte des autoroutes françaises qui sont exploitées par plusieurs exploitants.



Si on donne des informations pour mieux équilibrer la distribution de la demande dans l'espace et dans le temps, on modifie les flux et les recettes de péage des exploitants. La diffusion de l'information inter-réseau demande non seulement des opérabilités techniques entre les différents exploitants, mais aussi des études d'équité des usagers et des exploitants.

## 2. Evaluation des impacts



La gestion dynamique du trafic peut apporter des bénéfices en termes de sécurité routière et d'écoulement du trafic. Elle peut réduire aussi la consommation de ressources, notamment la consommation d'énergie. Elle peut réduire également la pollution globale des gaz à effet de serre et la pollution locale comme le bruit et l'émission des polluants. Elle peut aussi avoir des impacts sur les écosystèmes, sur les cours d'eau, la flore, la faune, etc.

Il faut cependant étudier les impacts en considérant leurs différents aspects : leur dimension spatiale, leur dimension temporelle et les différents points de vue des acteurs concernés.

## Impacts potentiels

- Sécurité : incident, accident
- Ecoulement du trafic : congestion, stabilité
- Consommation de ressources : énergie, etc.
- Pollution globale : émission de gaz à effets de serre
- Pollution locale : bruit, émission de polluants
- Ecosystème : cours d'eau, flore, faune



### Aspects à considérer :

- Dimension spatiale
- Dimension temporelle
- Point de vue de l'acteur concerné



Indicateur dynamique de congestion

13

Sur la dimension spatiale, je voudrais vous montrer les périmètres d'impact des différentes mesures de gestion du trafic. Pour les feux d'intersection, le périmètre est très limité. Il se limite à un point ou à zone de plusieurs carrefours à feux. S'il y a une mesure de coordination des feux, les impacts peuvent se faire sentir sur un corridor, mais pas plus loin. La régulation d'accès et la régulation des vitesses ont des impacts beaucoup plus étendus dans l'espace. La tarification de la congestion et l'orientation des usagers par l'information ont des impacts très étendus dans l'espace.

## Dimension spatiale

Périmètre \ Action	Point	Zone	Corridor	Réseau
Feux d'intersection				
Régulation d'accès				
Régulation de vitesse				
Allocation variable de voies				
Tarification de la congestion				
Orientation par information				




Indicateur dynamique de congestion

14

Concernant la dimension temporelle, les impacts sont à peu près les mêmes. Certaines mesures ont des impacts très courts dans le temps. Par exemple, un cycle de feux dure normalement une minute, voire deux minutes maximum. Une mesure de régulation de vitesse peut durer quant à elle toute la journée. La tarification de la congestion et l'orientation par information ont quant à elles des impacts à long terme, dans le comportement et le choix des usagers par exemple.

Dimension temporelle				
Périmètre \ Action	Très court terme (1~5 minutes)	Court terme (1-3 heures)	Moyen terme (1-3 jours)	Long terme (semaine, ...)
Feux d'intersection				
Régulation d'accès				
Régulation de vitesse				
Allocation variable de voies				
Tarification de la congestion				
Orientation par information				


*Indicateur dynamique de congestion*
15

Concernant les points de vue des acteurs, chaque acteur concerné a des préoccupations un peu différentes. Par exemple, la collectivité s'intéresse à l'accessibilité globale par l'infrastructure, par le réseau routier. Elle s'intéresse à l'émission des gaz à effet de serre, mais aussi au bruit et à l'émission de polluants pour les riverains. L'exploitant s'intéresse plutôt à l'écoulement du trafic. Comment assurer un bon écoulement par section autoroutière ? Il s'intéresse au débit de véhicules et à la recette des péages. Les usagers s'intéressent plutôt au temps de parcours individuel, au coût des péages et à la consommation d'énergie due à chaque déplacement particulier.



## Points de vue des acteurs concernés

- **Collectivité**
  - Accessibilité globale
  - Emission de GES
  - Pour les riverains: bruit, émission de polluants
- **Exploitant**
  - Ecoulement local par section (débit)
  - Recette de péage
- **Usager**
  - Temps de parcours individuel
  - Coût de péage
  - Consommation d'énergie



*Indicateur dynamique de congestion*

16

Sur cette slide, je vous montre quelques éléments méthodologiques qui sont disponibles actuellement.

## Disponibilité méthodologique

- **Affectation et écoulement du trafic**
    - Evaluation *a posteriori* : de nombreux logiciels de simulation
    - Evaluation *a priori*: analyse des données de mesure
  - **Consommation d'énergie, émission de GES et de polluants**
    - Modèles macroscopique (COPERT) et microscopique (ARTEMIS)
  - **Ecosystème**
    - Analyse de la fragmentation des écosystème (par ex. BD Carto)
    - Modèles mathématiques d'écosystème
- ➡ ... à améliorer :
- Modèles et méthodes
  - Etablissement des liens entre modèles élémentaires
  - Besoin de nouveaux types de données



*Indicateur dynamique de congestion*

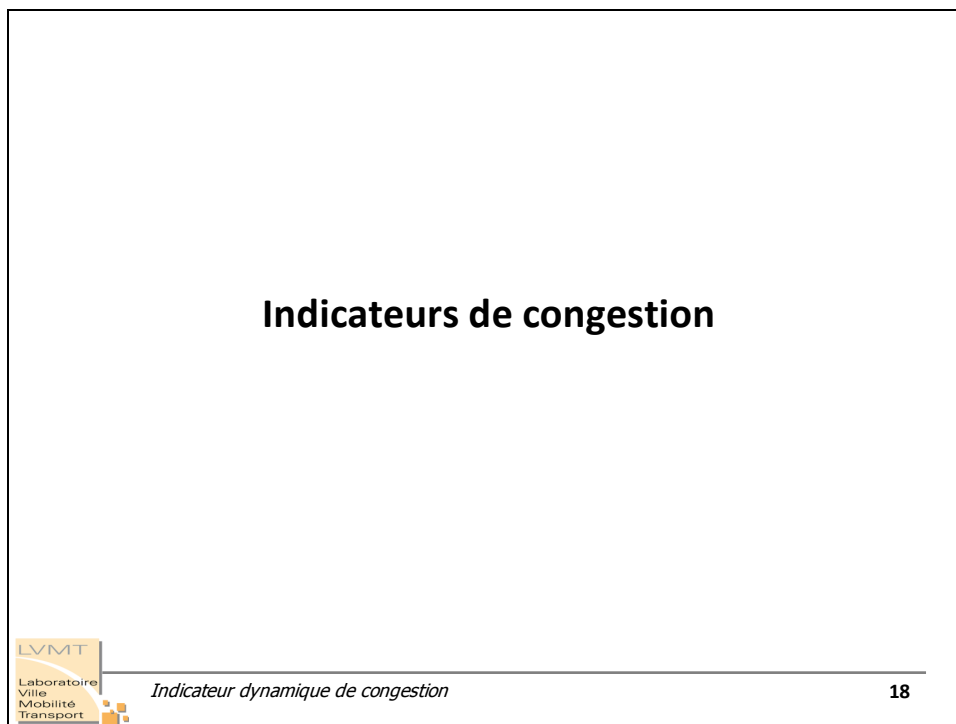
17

Concernant l'affectation et l'écoulement du trafic, nous avons de très nombreux logiciels de simulation pour faire des évaluations a priori. Nous avons aussi des méthodes d'analyse a posteriori, comme celle du groupe de travail présenté par Aurélien. Nous disposons aussi de

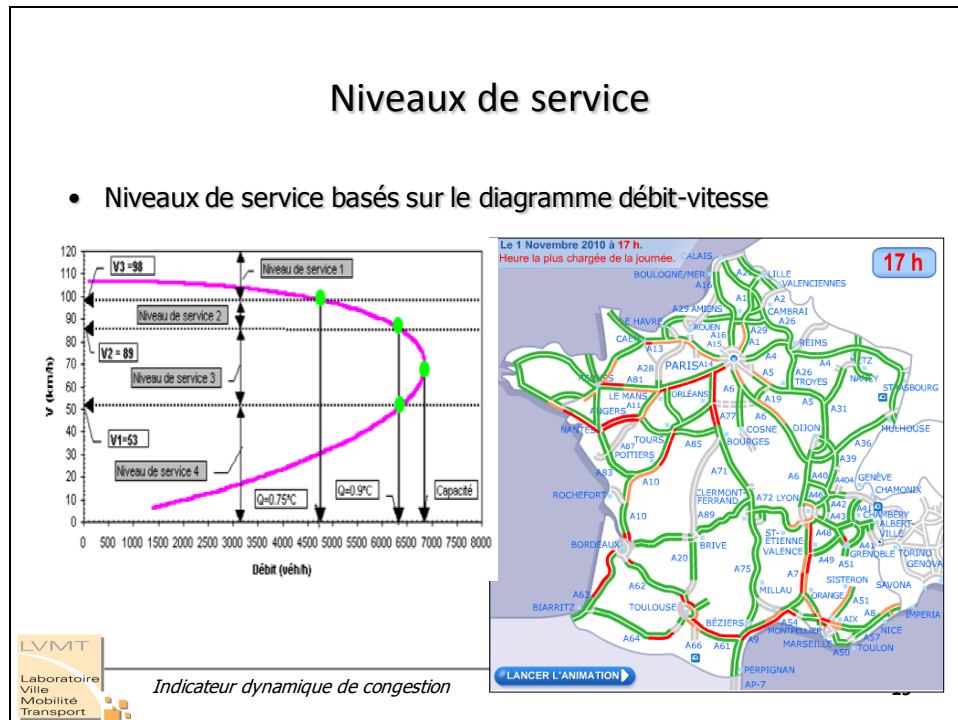
modèles pour modéliser les émissions dues au trafic routier. Nous avons des modèles macroscopiques qui doivent être alimentés par la vitesse moyenne et le débit du trafic, ainsi que des modèles microscopiques qui sont beaucoup plus exigeants en termes de données. Concernant les aspects environnementaux, nous avons des modèles mathématiques d'écosystèmes, nous disposons des méthodes d'analyse cartographique pour analyser la fragmentation des écosystèmes, etc.

Je pense qu'il faut encore améliorer le lien entre les différents modèles élémentaires. Nous avons par exemple des modèles très sophistiqués qui modélisent les émissions de polluants et de gaz à effet de serre, mais nous manquons de données de trafic, des données soit simulées, soit mesurées, qui permettent d'utiliser de manière efficace les modèles d'émission de gaz à effet de serre et de polluants. Nous avons peut-être besoin d'autres types de données qui permettent de calculer les impacts environnementaux, telles que des données sur la composition du parc automobile et des données sur le marché de l'énergie. La composition du marché de l'énergie a notamment des impacts sur le volume des émissions de gaz à effet de serre.

### 3. Indicateurs de congestion

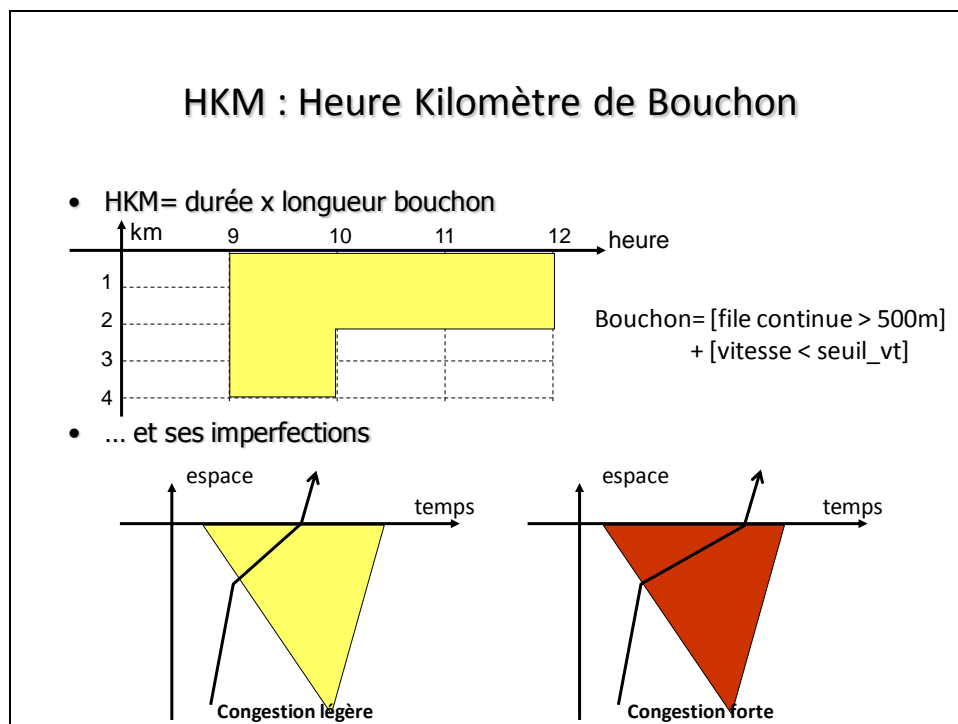


L'indicateur de congestion de base utilisé par tous les exploitants, c'est le niveau de service. Celui-ci est basé sur le diagramme fondamental débit-vitesse. On divise le diagramme fondamental en plusieurs segments, avec le point critique de la capacité. En amont du point critique, se trouve la circulation fluide et en aval du point critique se trouve la circulation congestionnée. Je vous montre ici un exemple de carte avec des niveaux de service différents.



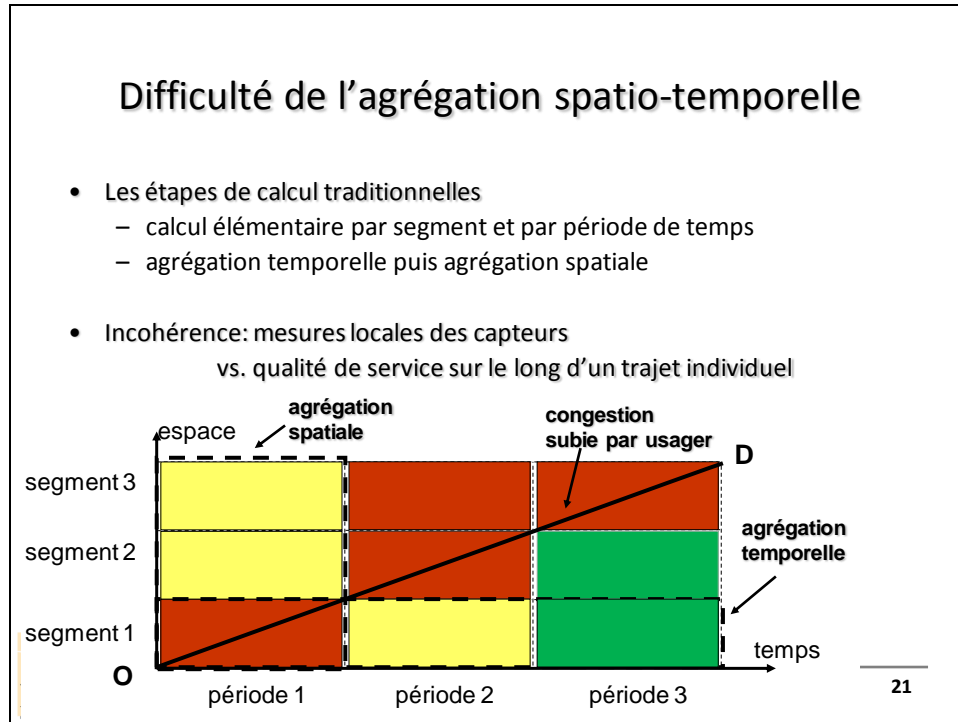
Cela est utilisé pour construire les cartographies de congestion utilisées soit pour l'exploitation routière soit pour l'information des usagers.

Un autre indicateur largement utilisé est l'heure kilomètre de bouchon.



On définit un bouchon par un flot de véhicules qui circulent à une vitesse inférieure à un certain seuil et qui compose une file continue supérieure à cinquante mètres. Cet indicateur


permet de capter un peu la dimension à la fois temporelle et spatiale de la congestion, mais il ne permet pas vraiment de voir la densité de la congestion. Une congestion très dense et une congestion très légère peuvent donner le même chiffre. Pour calculer les indicateurs de congestion, nous rencontrons une difficulté dans l'agrégation spatio-temporelle.



Sur le schéma, en vertical, je vous montre trois segments autoroutiers et en horizontal trois périodes de temps différentes. Normalement, sur une cartographie, l'exploitant peut montrer les différents niveaux de congestion sur les différents segments pendant une période, mais pour effectuer un déplacement long, l'utilisateur peut être confronté à plusieurs conditions de circulation très différentes de celles décrites par les niveaux de service. Nous voyons ici une différence entre les mesures locales, les indicateurs locaux et la qualité de service sur les longs trajets individuels.

## 4. Projet Temps de parcours usager

## Projet Temps de Parcours Usager




*Indicateur dynamique de congestion*

**22**

Avec l'équipe d'ASF, nous avons monté le projet TPU, Temps de parcours usager, qui vise à développer un nouvel indicateur de congestion reflétant d'une part la dynamique de la congestion et d'autre part la qualité de service autoroutier que le réseau donne à l'utilisateur. L'objectif de ce projet est de développer une méthode pour la reconstitution des temps de parcours individuels des usagers à partir de QVTo-6 minutes.

## Projet mené avec ASF

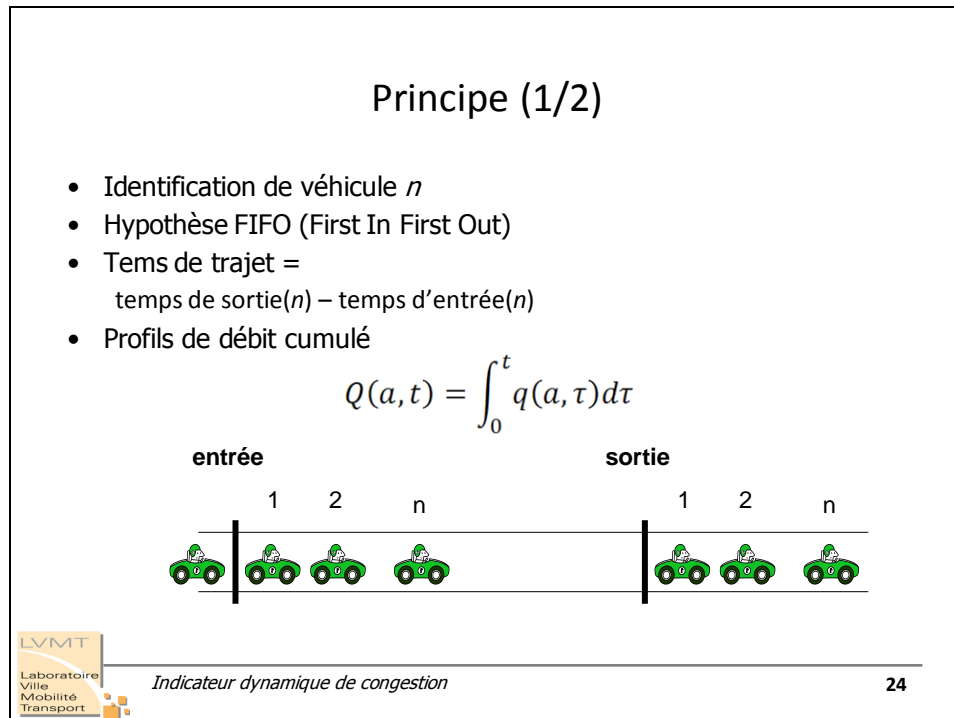
- Contexte
  - L'Autoroute A7-ASF : site d'application de nombreuses actions innovantes de gestion dynamique du trafic
  - Les indicateurs HKM et NSC actuellement adoptés ne permettent pas de capturer les effets de la gestion dynamique
  - ➔ Besoin d'un indicateur dynamique reflétant la dynamique du trafic routier et celle des actions d'exploitation
  - > Qualité de service fournie aux usagers
- Objectif:
  - Reconstitution des Temps de parcours individuels des Usagers par itinéraire et par horaire de départ à partir des données QVTo-6mins



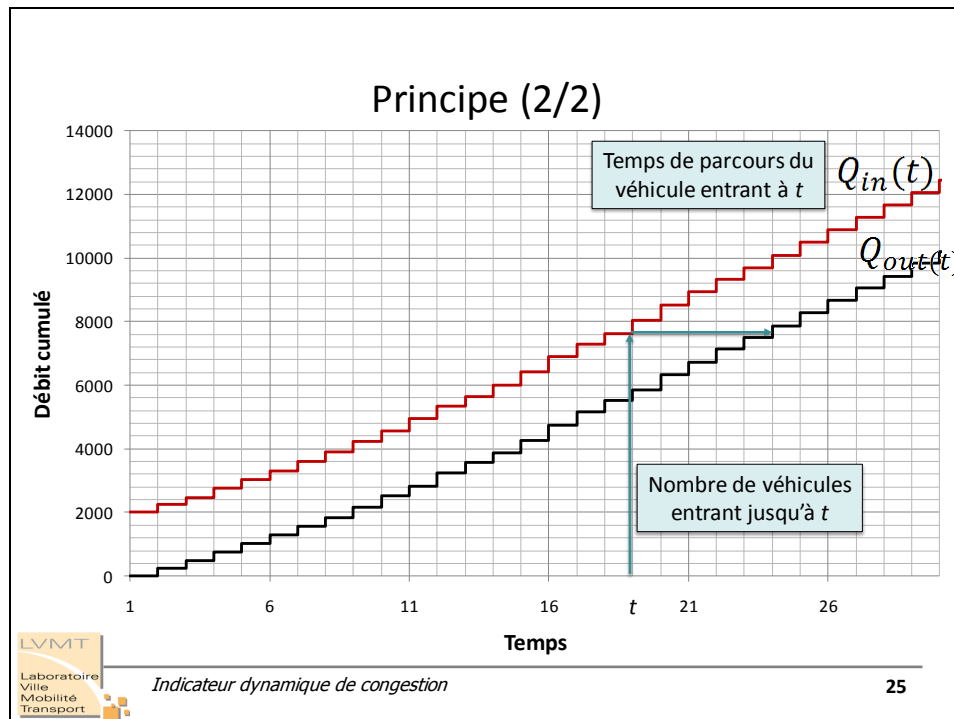
*Indicateur dynamique de congestion*

**23**

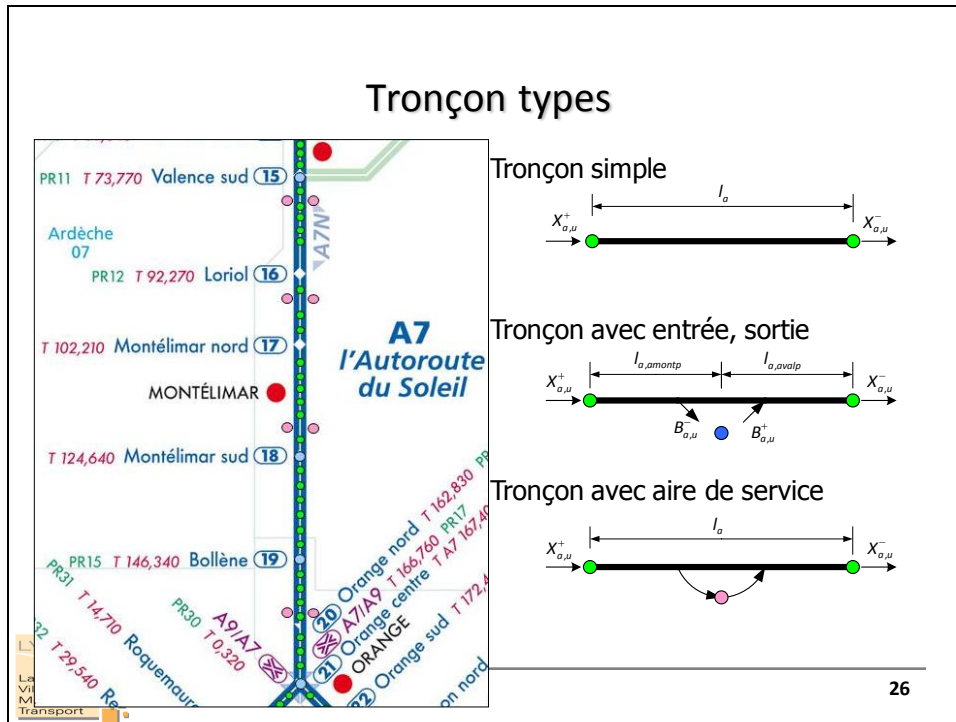
Le principe de cette méthode est très simple. La méthode de calcul est basée sur les profils de débit cumulé. Quand on fixe une entrée et une sortie d'un segment autoroutier, on peut compter les véhicules qui entrent et les véhicules qui sortent. En réduisant le temps d'entrée et le temps de sortie, on peut calculer le temps de trajet d'un véhicule.



Je vous montre un exemple. Sur le profil de débit cumulé, à chaque instant  $T$ , nous pouvons localiser le point de profil d'entrée et le point de profil de sortie, le stock sur la section et le temps de parcours. On sait à quel instant va sortir le véhicule qui entre à l'instant  $T$ .



Dans un premier temps, cette étude a utilisé les données sur l'autoroute A7, sur la section entre Valence sud et Orange. Vous distinguez ici les différents types de tronçons : les tronçons simples avec deux points de mesure, des tronçons un peu plus compliqués quand il y a des entrées ou des sorties au milieu du tronçon et des tronçons avec des aires de service au milieu.

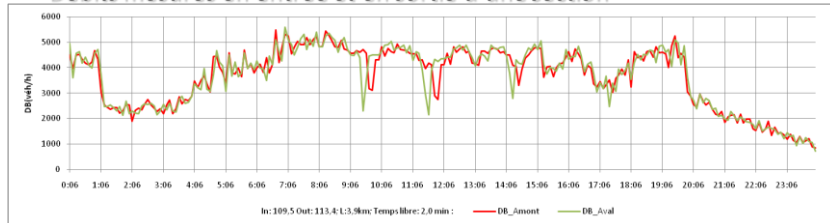


Pour l'instant, on applique simplement la méthode de calcul de dynamique pour le tronçon simple. Pour les autres tronçons, on calcule le temps de parcours des véhicules à partir des vitesses mesurées sur les deux côtés. Je vous montre ensuite un exemple réalisé à partir des débits six minutes. Nous pouvons reconstituer le temps de parcours qui reflète bien la dynamique du réseau.

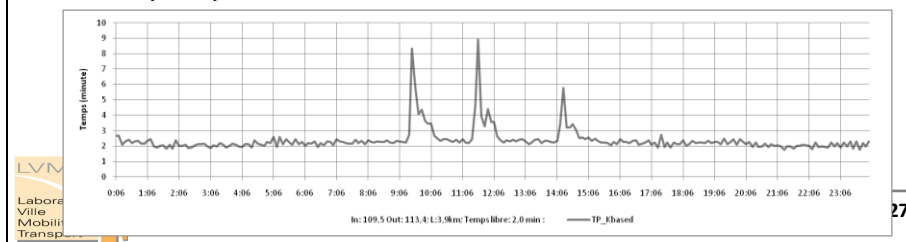


## Temps de parcours d'une section élémentaire

- Débits mesurés en entrée et en sortie d'une section

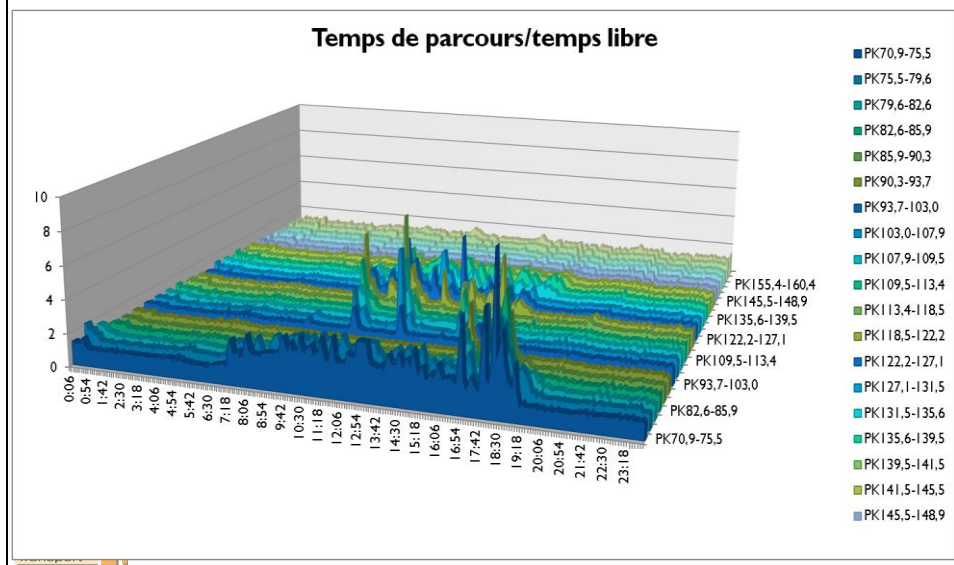


- Temps de parcours calculé



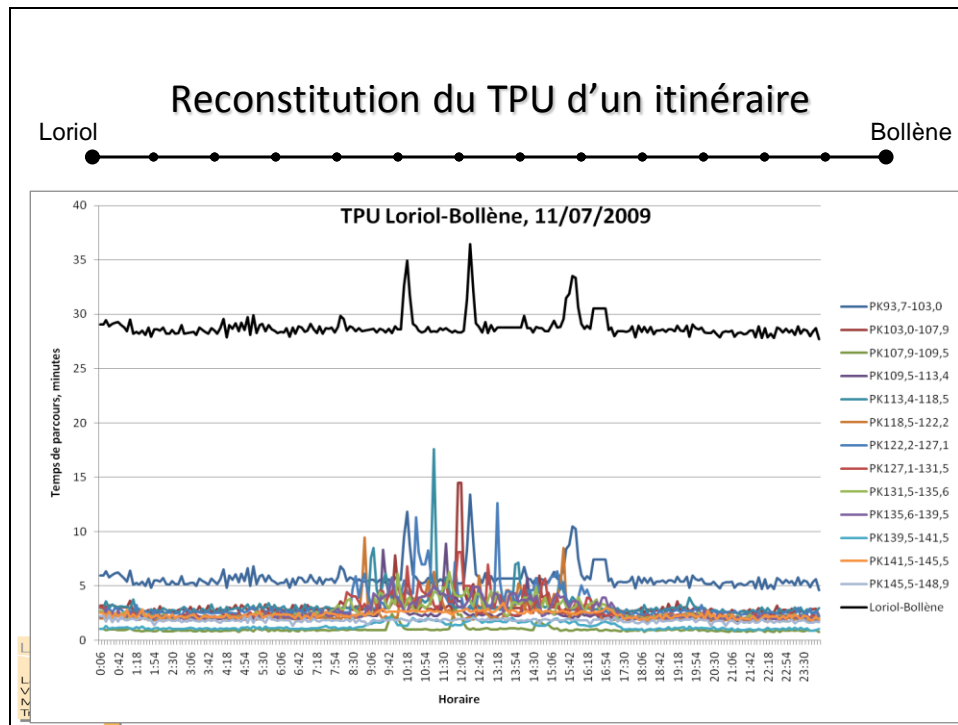
Vous voyez ensuite le temps de parcours calculé sur l'ensemble des tronçons, sur l'autoroute A7 entre Valence et Orange.

## Sur l'ensemble des sections élémentaires



Après avoir calculé les temps de parcours élémentaires par segment et par horaire d'entrée, on reconstitue aussi le temps de parcours dynamique sur l'ensemble d'un trajet qui est composé de plusieurs segments différents, en respectant la cohérence spatio-temporelle. Vous voyez

sur la diapositive un exemple de reconstitution de temps de parcours dans un itinéraire dont l'origine est Lorient et la destination Bollène.



Le temps de parcours dynamique pour cette origine/destination est un élément synthétique des temps de parcours élémentaires des différents segments autoroutiers.

Nous sommes en train d'intégrer cette méthode de calcul dans un simulateur qui s'appelle LADTA Toolkit.

## LADTA Toolkit


- Outils de simulation dynamique
    - Reconstitution/ simulation/ prédiction de l'affectation (choix d'itinéraire, choix d'horaire de départ) du trafic sur un réseau (urbain ou interurbain)
  - Environnement de calcul performant
    - Reconstitution des temps de parcours usagers (TPU) par itinéraire et par horaire de départ
- ➡ **Analyse de la congestion de manière dynamique et fine**
- Plusieurs échelles temporelles : horaire, journée, saison, année
  - Plusieurs échelles spatiales : itinéraire (OD), corridor, réseau

Initialement, LADTA Toolkit est un simulateur dynamique de trafic qui permet de simuler et de prévoir l'affectation dynamique du trafic, avec le choix d'itinéraires et d'horaires, sur un réseau urbain ou interurbain. LADTA Toolkit est aussi un environnement de calcul très performant. Nous avons donc profité de cet outil pour automatiser notre méthode de calcul. Cette méthode de calcul va permettre des évaluations de congestion dynamiques de manière fine sur plusieurs échelles spatiales et temporelles. Nous pouvons faire des analyses sur différents horaires de la journée ou sur différentes saisons au cours d'une année, ainsi que sur plusieurs échelles spatiales sur un itinéraire précis. Nous pouvons comparer également plusieurs itinéraires pour traiter la problématique de l'équité des usagers par exemple, analyser les données pour avoir des indicateurs de performance sur un corridor ou sur un réseau.

En conclusion, je dirais que la gestion dynamique du trafic permet à la fois d'optimiser l'écoulement du trafic et d'apporter des bénéfices en termes d'impacts environnementaux et écologiques. Pour mener une évaluation, il faut considérer à la fois la dimension temporelle, la dimension spatiale et le point de vue de l'acteur concerné. Enfin, l'outil TPU que nous sommes en train de développer nous permettra de mener des analyses dynamiques de la congestion sur des échelles spatio-temporelles reflétant la qualité de service offerte aux usagers.

## Conclusion

- **Gestion dynamique du trafic**
  - Optimiser l'usage de l'infrastructure à travers la gestion de l'offre et de la demande
  - D'autres profits potentiels: réduction des impacts environnementaux et écologiques
- **Les aspects à considérer dans une évaluation**
  - Dimension temporelle, dimension spatiale, acteur concerné
- **Outil TPU permet des analyses dynamiques de la congestion**
  - Plusieurs échelle temporelle
  - Plusieurs échelle spatiale
  - Indicateurs reflétant la qualité de service perçue par les usagers



Laboratoire  
Ville  
Mobilité  
Transport

Indicateur dynamique de congestion

31

**Géraldine Thomas-Vallejo**

Est-ce qu'il y a des réactions ?

**Jean-Louis Marchand**, *Eurovia*

Compte tenu de l'intitulé de votre sujet de recherche, je m'attendais à ce que vous arriviez plus vite aux indicateurs de congestion. Au début, vous avez montré la complexité de la problématique. Je reste un peu sur ma faim sur les indicateurs de congestion que vous avez résumés et sur lesquels vous allez travailler. Qu'est-ce que l'on va faire des indicateurs de congestion ? Au tout début, Fabien Leurent faisait une comparaison des différents pays qui

prennent en compte un certain nombre de critères dans l'appréciation de projets. On a tendance à aller vers la monétarisation. Je voulais donc vous poser cette question. Dans vos travaux ultérieurs, avez-vous la perspective d'interfacer certains de vos indicateurs de congestion avec des modèles de monétarisation éventuels ?

**Thaï Phu Nguyen**

En fait, nous avons un certain nombre de possibilités au départ et nous n'avons pas choisi cet indicateur par hasard. Il est basé sur le temps individuel de l'utilisateur et il peut donc être monétarisé facilement. C'est l'une des raisons pour lesquelles nous avons choisi ce genre d'indicateurs. En outre, cet indicateur permet de considérer la performance du réseau du point de vue des usagers, ce qui est pour nous très important dans les démarches d'éco-conception ou de développement durable.

**Géraldine Thomas-Vallejo**

Y a-t-il une autre question ?

**Olivier Lépinoy, VINCI Immobilier**

J'ai une question qui va trancher avec le caractère très technique de l'exposé. Est-ce que ces dispositifs d'optimisation du trafic permettent que l'utilisateur, l'automobiliste ou le client, selon le cas, ait une espérance d'amélioration de son temps de trajet suffisante pour qu'il envisage de payer plus cher ? On ne dit jamais ce que représente cette optimisation dans l'emploi du temps d'une personne derrière son volant.

**Fabien Leurent**

Concernant cette gestion dynamique du trafic qui aurait peut-être été un meilleur titre que celui d'« Indicateurs dynamiques de congestion » qui correspondait plus à la dernière partie, nous en sommes déjà à expérimenter des stratégies de gestion du trafic et nous le faisons peut-être sans être suffisamment outillés en termes de capteurs. Recueillir, sur quelques postes, des données agrégées six minutes ne nous permet peut-être pas de bien comprendre le fond du problème. Il faut peut-être avoir des données plus fines. Nous sommes peut-être sous-outillés en capteurs et sous-outillés en instruments de simulation. Thaï Phu souhaitait montrer que pour certains problèmes, nous avons besoin de simuler à certaines échelles les effets dans l'espace, dans le temps. Je rappelle ce que l'on fait pour simuler des projets urbains et interurbains. On évalue l'utilité socio-économique et on fait grosso modo une simulation journalière, section par section.

Quelques études ont été présentées encore récemment pour la politique des transports dans le quart sud-est de la France. Dans le cadre du grand débat sur la vallée du Rhône et l'Arc languedocien, en 2006, quelles études avaient été faites ? Il y avait principalement des études de simulation du trafic routier en moyenne journalière, en distinguant deux conditions temporelles différentes, d'une part la journée d'été, d'autre part la journée hors été. Tel est l'état de l'art pour la simulation qui va ensuite permettre de tirer l'utilité monétaire des projets en valorisant notamment des temps moyens des usagers. Autrement dit, aujourd'hui, les outils d'évaluation sont très réducteurs. Simuler en journée moyenne revient à supposer que tous les usagers qui sont passés par un certain tronçon d'infrastructure ont tous eu le même temps au cours de leur parcours. Ce temps est calculé sur la moyenne journalière du trafic. Autrement dit, on fait comme si le trafic était un phénomène homogène au long de toutes les heures des périodes que l'on moyennise. Nous savons bien que c'est grossièrement faux et qu'il y a une dynamique du trafic. Tout le problème est bien d'avoir des indicateurs de temps de parcours qui vont être suffisamment variables parmi la population des déplacements pour

avoir une image qui se rapproche de la réalité. Voilà où nous en sommes sur la sensibilité des modèles aux conditions réelles rencontrées par les usagers.

Ensuite, il y a la situation économique. La première évaluation économique est faite par l'utilisateur lui-même. Il aura peut-être plusieurs déplacements du même type. Sa connaissance des conditions de déplacement, pour son propre contexte de choix et pour le jour où il souhaite voyager, va lui permettre de choisir son itinéraire. C'est ce que nous avons dans le LADTA Toolkit, à savoir la simulation du choix de l'itinéraire et du choix d'horaire de départ. Nous en avons parlé dans un exposé précédent puisque ces travaux ont été faits en collaboration avec ASF et Cofiroute pour simuler des conditions tarifaires de péages. Il faut que nos modèles soient sensibles, que l'on représente la diversité des conditions propres à chaque usager dans l'évaluation qu'il va faire lui-même des itinéraires alternatifs pour faire son choix. Il va peut-être évaluer aussi plusieurs options d'horaires. Nous essayons de le simuler.

La deuxième étape d'évaluation consiste à totaliser pour la collectivité. On peut le faire, de manière assez rapide, en totalisant ce qui se passe pour l'ensemble des usagers. La question est de bien voir la dynamique du trafic dans l'espace et comment elle croise la diversité des usagers en fonction des conditions particulières dans lesquelles chacun veut se déplacer. C'est ce que nous essayons de représenter plus finement avec des indicateurs plus fins qui permettront de donner de la solidité à l'évaluation économique et à l'évaluation des effets environnementaux, ce dont va parler la présentation suivante.

### **Bernard Fer**

Nous nous sommes prêtés assez volontairement à ces mesures et à ces expérimentations scientifiques, pour l'évaluation des opérations que l'on met en place, notamment les opérations concernant l'Arc languedocien et la vallée du Rhône telles qu'elles viennent d'être dites. L'Etat nous engage à pousser ces opérations et nous demande de les évaluer avec des indicateurs qui sont dans nos contrats et qu'il faut qualifier. Jusqu'à présent, nous ne travaillions qu'en HKM. L'exposé a montré les limites de l'indicateur en question. Puisque nous allons aller de plus en plus vers des indicateurs qualifiés qui pourraient conduire à un certain nombre de conséquences par rapport à nos investissements d'aujourd'hui et de demain, nous éprouvons le besoin d'avoir des choses un peu plus fines, au moins pour nous dans un premier temps, pour bien voir la potentialité de ces choses nouvelles. Nous nous sommes vraiment prêtés à l'expérience dans ce sens. Pour ma part, je considère que les résultats sont relativement encourageants pour mieux qualifier les perturbations et donc le niveau de service. Nous nous proposons de continuer à provisionner et à alimenter la recherche pour aller un peu plus loin. Je pense que c'est une autre perspective de mesures objectives. Il y a tout de même un aspect pratique et contractuel en ce qui nous concerne.

### **Fabien Leurent**

Si nous voulons vraiment réduire les impacts, l'impulsion viendra peut-être du maître d'ouvrage, mais je pense qu'un opérateur peut aussi avoir ses propres actions d'éco-conception. Par exemple, pourquoi ne pas penser la régulation des vitesses en recommandant une vitesse particulière à chaque file ? Nous pourrions conseiller cela et donner en même temps un signal à l'utilisateur en indiquant sous la vitesse recommandée quelles pourraient être les émissions de CO<sub>2</sub> en gramme par kilomètre compte tenu de la vitesse choisie, pour un modèle standard de voiture. L'Etat ne doit pas être le seul à impulser. L'opérateur peut peut-être prendre aussi des initiatives pour jouer la perception écologique des usagers.

**Emmanuel Dunat**, *Actemium, VINCI Energies*

J'ai une question qui fait suite à ce que vous venez de dire et qui concerne l'évaluation de ces nouveaux projets. On a parlé de la régulation des vitesses et de l'évaluation du temps moyen des usagers. Sur l'aspect environnemental, j'ai eu l'occasion de voir une évaluation du projet de régulation des vitesses sur l'A13 et j'ai été assez étonné du poids relativement faible donné aux gains pour l'environnement. Pour ce que j'en ai compris, on mesurait la quantité de CO<sub>2</sub> utilisée, on la multipliait, pour la monétariser et pouvoir la comparer au reste, par le prix d'une tonne de carbone. Finalement, le résultat de cet aspect environnemental me paraissait à première vue très faible. Je voulais savoir s'il y avait aussi des réflexions sur ce sujet.

**Bernard Fer**

On a longuement cherché à mettre en évidence les gains carbone. Dans les clubs pivots CO<sub>2</sub>, nous avons travaillé sur ce sujet. Sur le réseau de l'A7 où nous avons mesuré ce genre de choses, nous avons obtenu aussi des gains relativement marginaux par rapport à l'émission annuelle de CO<sub>2</sub>, mais tout cela s'explique bien. En effet, sur des réseaux comme celui de l'A7, qui sont des réseaux interurbains, le nombre de jours de grande congestion est relativement faible sur l'année. En plus, au cours de ces journées, il n'y a pas une congestion toute la journée, mais seulement durant une partie de la journée. Quand on fait simplement le rapport entre les heures de congestion que l'on observe sur ces réseaux et la totalité des heures de l'année, le résultat est seulement à quelques pourcents. Dès lors, par construction, le gain en CO<sub>2</sub> que l'on peut attendre est nécessairement minimal. S'il y avait des congestions tous les jours, le résultat serait évidemment beaucoup plus spectaculaire. Les mesures sont efficaces, mais à leur hauteur.

**Fabien Laurent**

Ce sont quelques pourcents de gain de CO<sub>2</sub> sur quelques pourcents des heures de l'année. Certes, ce sont quelques pourcents de pourcents, mais ils jouent tout de même sur un très gros volume. Finalement, est-ce que l'on peut associer une valeur économique suffisamment massive à cela pour prendre des décisions ? Je ne sais pas exactement la valeur à la tonne du carbone recommandée actuellement par le Ministère, mais on projette d'aller à 60 en 2025 et d'aller à 100 peut-être en 2050, ce qui fait un saut d'un facteur 10 par rapport à aujourd'hui. Le gain sera donc plus sensible dans le futur, au fur et à mesure que l'on subira de plus en plus le réchauffement climatique. Aujourd'hui, il est clair que les signaux économiques ne sont pas forts sur les impacts des gaz à effet de serre. La question est vraiment une question de politique générale.

Comment la collectivité doit-elle fixer dès aujourd'hui une valeur à la tonne de carbone économisée ? Cela prend en compte notamment les possibilités intersectorielles d'investir pour économiser des émissions de gaz carbonique. En particulier, le secteur du bâtiment a l'air moins onéreux que celui des transports pour économiser le CO<sub>2</sub>. Aujourd'hui, en intersectoriel, telle est la situation. Ce qu'il faut dépenser dans le secteur du bâtiment pour économiser une tonne de CO<sub>2</sub> dicte aussi une valeur de référence, valeur qui correspond donc à une valeur d'agir plutôt qu'à une valeur de réparer des impacts.

**Géraldine Thomas-Vallejo**

Je vous propose de passer à la dernière présentation.

## **Modélisation des émissions de polluants dues au trafic routier**

**Antoine Tordeux**, *Laboratoire Ville Mobilité Transport*

**Modélisation des émissions de polluants  
dus au trafic routier**

Vincent **AGUILÉRA**     Antoine **TORDEUX**  
— LABORATOIRE VILLE MOBILITÉ TRANSPORT —

---

**Soirée « Impact des transports »**  
*En collaboration avec la Chaire Eco-Conception  
des ensembles bâtis et des infrastructures*

---

le 17 janvier 2011 à Rueil-Malmaison — Auditorium de Vinci

Bonsoir à tous.

J'ai commencé un poste de doctorat en octobre 2010 avec Vincent Aguiléra au laboratoire Ville Mobilité Transport et nous travaillons sur l'estimation des émissions de polluants dues au trafic routier. Je vais donc vous présenter les travaux que nous avons pu développer sur ce sujet au cours de ces trois derniers mois. Dans un premier temps, nos objectifs étaient d'analyser et de comparer des modèles microscopiques et macroscopiques d'estimation des émissions de polluants du trafic. A l'issue de cette étude, l'objectif était d'essayer de développer une méthode d'estimation des émissions qui soit d'une part opérationnelle, c'est-à-dire basée sur des données accessibles - nous verrons que ce sont essentiellement des données du type vitesse moyenne, obtenues par des agrégations sur six minutes – et d'autre part précise. Nous cherchons notamment à estimer l'impact d'une régulation de la vitesse maximale.

## Objectifs

- Analyser et comparer les modèles microscopiques et macroscopiques d'estimation des émissions de polluants du trafic routier
- Développer une méthode d'estimation des émissions de polluants du trafic routier à la fois:
  - Opérationnelle (basée sur des données disponibles)
  - Précise (capable de rendre compte d'aspects *fins* tels que la régulation de la vitesse maximale)

Brièvement, je vous présente une revue bibliographique des modèles d'émissions. Ils sont décrits du plus grossier au plus précis.

## Revue des modèles d'émissions

- Modèles macroscopiques discrets basés sur une classification des états du trafic (COST, ARTEMIS, COPERT). L'approche requiert uniquement de connaître le type du réseaux.
- Modèles macroscopiques continus basés sur la vitesse moyenne des véhicules (MOBILE, COPERT, NAEI, EMFAC).
- Modèles mésoscopiques (COPERT, Smit *et al.*). Il s'agit généralement d'extensions de modèles macroscopiques, basés sur une estimation des densités des vitesses des véhicules.
- Modèles microscopiques basées sur des performances individuelles agrégées sur des cycles (VERSIT, Rapone *et al.*).
- Modèles microscopiques basées sur des performances individuelles instantanées (Joumard *et al.*, VT-MICRO).

Il y a des modèles macroscopiques qui sont basés sur une classification des états du trafic. Les états du trafic sont principalement distingués entre des trafics urbains, périurbains et autoroutiers. L'approche nécessite donc uniquement de connaître le type de réseaux et les densités pour estimer les émissions de polluants. Une approche un peu plus fine, toujours macroscopique, mais continue, est basée sur la vitesse moyenne des véhicules. Par définition,



elle nécessite de connaître les vitesses moyennes sur des parcours qui sont des données accessibles à l'aide de mesures de capteurs. Ensuite, il existe des modèles mésoscopiques qui sont généralement des modèles macroscopiques, non plus basés sur des vitesses moyennes, mais sur des estimations des densités des vitesses. Il faut être en mesure d'estimer les densités des vitesses. Généralement, des données agrégées six minutes ne sont pas assez précises pour pouvoir estimer ces densités. Enfin, il existe des modèles microscopiques. Certains sont basés sur des performances individuelles agrégées sur des cycles et d'autres sont basés sur des performances individuelles instantanées.

Nous avons cherché à comparer ces différents modèles et nous nous sommes principalement attachés au modèle COPERT qui est un modèle macroscopique basé sur la vitesse moyenne, mais qui peut être utilisé avec les densités des vitesses. Les modèles macroscopiques sont faciles d'utilisation car calculés sur des moyennes de vitesses qui sont facilement mesurables, mais ils sont en contrepartie peu précis. Ils permettent difficilement d'évaluer l'impact de stratégie d'exploitation telle que la régulation de la vitesse maximale. S'ils permettent d'estimer de manière précise les émissions de polluants, les modèles microscopiques requièrent d'utiliser des performances instantanées de véhicules, telles que la vitesse instantanée ou le taux d'accélération qui sont des informations peu mesurées, voire non mesurées. L'idée est donc de développer un modèle macroscopique dans lequel nous allons essayer d'introduire nos connaissances en matière de flux de trafic. Je vais préciser ces aspects.

### Problématique

- Les modèles macroscopiques sont faciles d'utilisation (car basés sur la nature du réseau ou la vitesse moyenne) mais ils permettent difficilement d'évaluer l'impact de stratégies de régulation modifiant les aspects cinétiques des flux.
  - Les modèles microscopiques permettent de rendre compte précisément des niveaux d'émissions mais ils requièrent des données fines (performances instantanées des véhicules) peu accessibles.
- Utiliser un modèle macroscopique en apportant des connaissances sur les propriétés d'écoulement des flux de trafic

D'abord, nous avons utilisé des données issues d'un simulateur pour définir facilement différents scénarios et tester différents niveaux de densité par exemple. Ces données sont obtenues avec un modèle microscopique de trafic. Nous avons simulé, sur un cercle de cinq kilomètres, un comportement de véhicule en file, pour

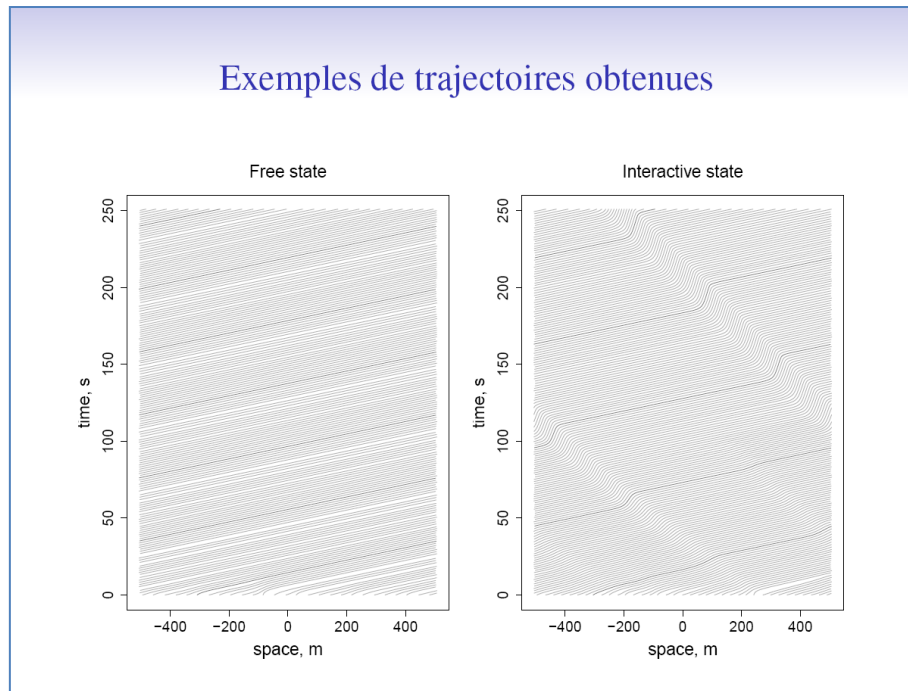
différents niveaux de densité et différentes valeurs de la vitesse maximale sur ce cercle. Grosso modo, nous distinguons deux états de trafic, qui sont en adéquation avec la théorie du trafic : un état de trafic libre où les vitesses des véhicules sont homogènes, voisines de la vitesse maximale tolérée et qui est observé pour des densités faibles et un état de trafic interactif ou congestionné où les vitesses des véhicules sont régulées, sont inférieures à la vitesse maximale tolérée et où on observe des ondes cinématiques. Ce dernier est typiquement un trafic en accordéon, dans le cas d'une forte densité.

### Données utilisées

- Données individuelles instantanées obtenues par simulation avec un modèle microscopique de trafic (dont les paramètres sont estimées statistiquement sur des données réelles)
- Trafic simulé sur un cercle (d'une longueur de 5 km) pour différents niveaux de densités et deux régulations de la vitesse maximale
- Distinction de deux états de trafic:
  - Libre (vitesse des véhicules homogène) pour des densités faibles
  - Interactif ou congestionné (vitesse des véhicules hétérogènes, présence d'ondes cinématiques) pour des densités importantes

Pour illustrer ces deux états de trafic, j'ai représenté, sur cette figure, les trajectoires obtenues. Vous voyez les trajectoires des véhicules sur un cercle d'un kilomètre et la position du véhicule en fonction du temps. Sur la figure de gauche, l'état de trafic est libre et les véhicules circulent à la même vitesse, à la vitesse maximale. Sur la figure de droite, l'état de trafic est interactif, la vitesse moyenne est inférieure à la vitesse maximale et on observe la formation et la propagation d'un trafic dense conduisant les véhicules à des phases d'accélération et à des phases de freinage, à des phases de trafic libre en quelque sorte et de trafic congestionné.

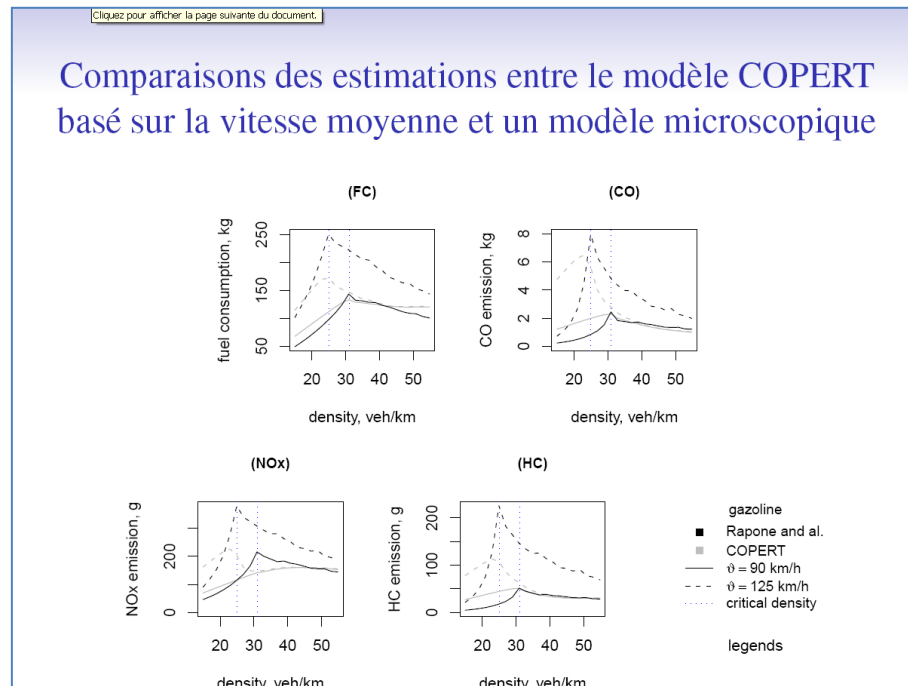
## Exemples de trajectoires obtenues



Ensuite, nous avons cherché à estimer les émissions de polluants à partir des données simulées, en utilisant dans un premier temps le modèle macroscopique COPERT que nous avons comparé à un modèle microscopique, le modèle italien de Rapone. Les figures sont un peu compliquées. En fait, il y a différentes courbes. Les courbes en trait continu sont les émissions obtenues pour une vitesse maximale de 90 kilomètres-heures. Les courbes en pointillés sont les émissions obtenues pour une vitesse maximale de 125 kilomètres-heures.

[Cliquez pour afficher la page suivante du document.](#)

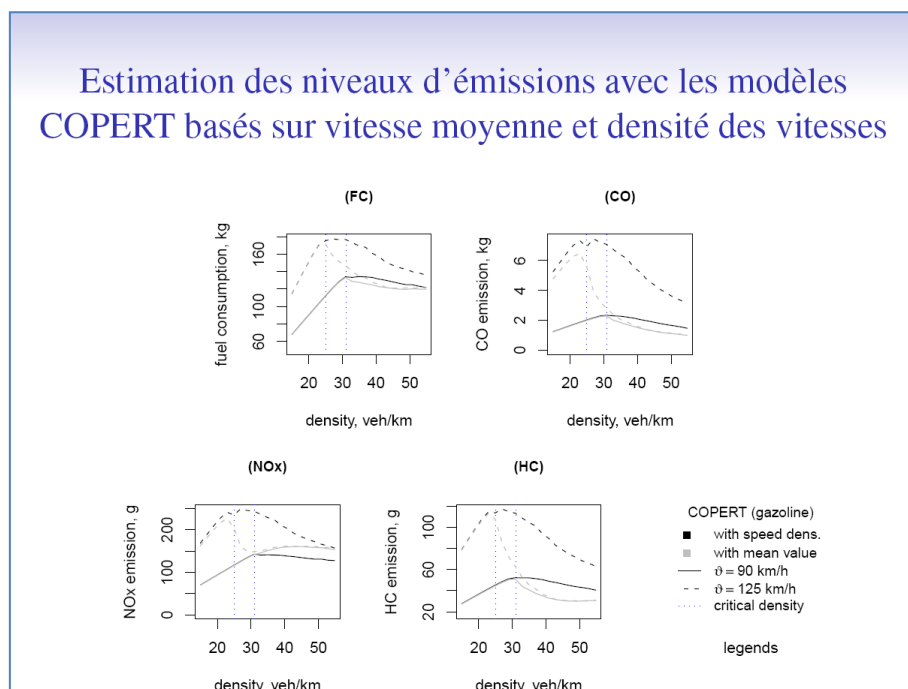
### Comparaisons des estimations entre le modèle COPERT basé sur la vitesse moyenne et un modèle microscopique



Nous avons comparé deux régulations de vitesse maximale. Les traits noirs sont les estimations obtenues avec le modèle microscopique de Rapone, alors que les traits en gris clair sont les estimations obtenues avec le modèle COPERT, modèle macroscopique. Nous avons ici les estimations de consommation de carburant, les émissions de CO, de NOx et d'HC.

On constate que la vitesse moyenne est à peu près la même quelle que soit la régulation de la vitesse, alors qu'on observe qualitativement que les états du trafic sont différents. Le modèle COPERT, basé uniquement sur les vitesses moyennes, donne les mêmes estimations puisque les vitesses moyennes sont à peu près les mêmes, alors que le modèle microscopique présente des différences significatives, selon la valeur de la régulation de la vitesse maximale. On observe donc d'une part des différences entre un modèle microscopique et macroscopique et on constate d'autre part que le modèle COPERT ne présente pas de différences d'estimation, alors que les états du trafic sont différents. On a deux valeurs modales pour la vitesse : les véhicules qui sont dans les ondes et ceux qui sont en dehors des ondes. Selon la vitesse maximale, les deux modes de vitesse diffèrent, mais curieusement, les moyennes sont égales. Le modèle COPERT ne permet donc pas de rendre compte de l'impact d'une régulation de la vitesse maximale.

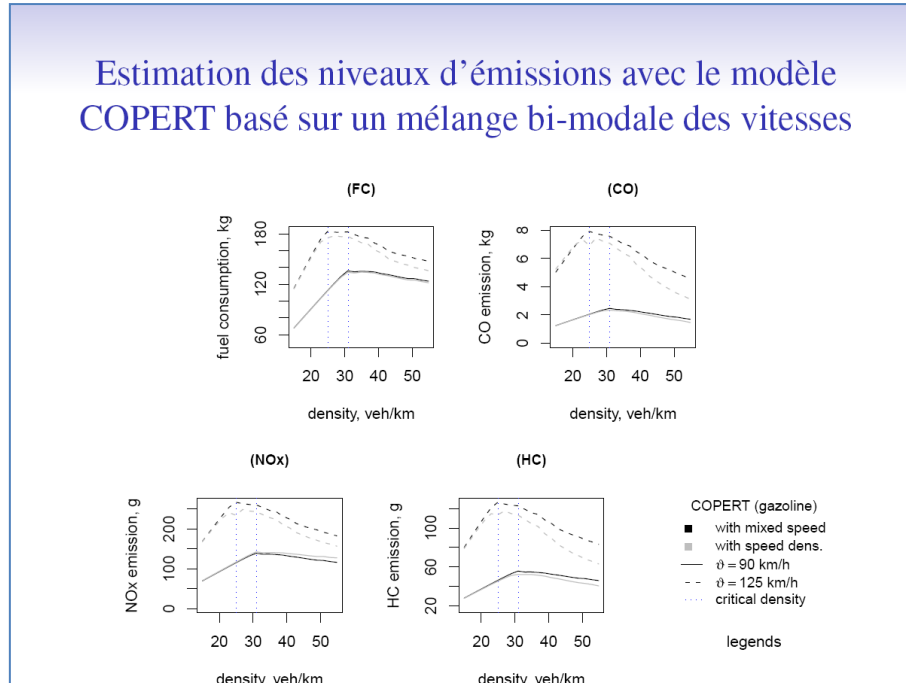
Dans un second temps, nous avons utilisé le modèle COPERT, mais non plus basé sur la vitesse moyenne, mais sur une estimation des densités des vitesses.



Les densités des vitesses sont calculées à partir des vitesses instantanées. En gris clair, sont représentées les estimations obtenues avec le modèle COPERT basé sur la vitesse moyenne. Les estimations sont comparables pour des seuils de densité interactifs. Comme pour le modèle microscopique, on observe qu'en utilisant les densités des vitesses, il y a des différences significatives selon la valeur de la régulation. Ce premier apport nous a permis de constater qu'utiliser le modèle COPERT avec les densités des vitesses serait peut-être plus pertinent, mais d'un point de vue opérationnel, estimer les densités des vitesses est difficilement accessible, dans la mesure où les données dont nous disposons sont des données

agrégées six minutes qui ne nous permettent pas d'estimer les densités des vitesses. Pour ce faire, nous avons besoin des vitesses instantanées.

Nous avons donc eu l'idée d'utiliser le modèle COPERT en supposant que la vitesse moyenne est un mélange de deux vitesses, une vitesse qui est proche de la vitesse désirée et une vitesse proche de zéro en considérant les véhicules à l'intérieur d'une onde.



On apporte la connaissance que l'on a du trafic, avec cette hypothèse que pour des régimes interactifs, les flux de trafic produisent des ondes de trafic dense. Sur cette figure, j'ai comparé les estimations que nous avons obtenues à celles obtenues avec les densités des vitesses. Nous pouvons constater que considérer que la vitesse moyenne est un mélange de deux modes permet d'avoir des estimations proches de celles obtenues avec les densités des vitesses qui étaient elles-mêmes proches des estimations obtenues à l'aide du modèle microscopique qui est, dans cette étude, un peu notre référence.

En conclusion, nous avons pu constater que les modèles basés sur la vitesse moyenne ne sont pas suffisamment précis pour estimer l'impact de certaines stratégies d'exploitation du trafic, notamment la régulation de la vitesse maximale. Considérer que la vitesse moyenne est un mélange de deux modes apparaît être un compromis raisonnable au sens où il est toujours calculable à partir de la vitesse moyenne. Si l'on connaît la vitesse des deux modes, on peut, à partir de la vitesse moyenne, calculer la proportion de véhicules correspondant à chaque mode. Il est donc opérationnel à partir de la vitesse moyenne.

Les perspectives de travail vont être de développer une méthode d'estimation statistique des paramètres du modèle, notamment d'essayer de développer une méthode pour estimer les valeurs des modes de vitesse, puis de confronter les estimations à des données réelles et d'évaluer l'apport de la démarche. Nous travaillons en partenariat avec le CEREAS qui mesure la qualité de l'air et avec lequel nous espérons pouvoir évaluer notre approche. Merci de votre attention.

## Conclusions et perspectives de travail

### Conclusions:

- Les modèles basés sur la vitesse moyenne ne sont pas toujours suffisamment précis pour estimer l'impact de stratégies d'exploitation
- Supposer que la vitesse moyenne est un mélange de deux modes apparaît être un compromis raisonnable permettant un gain de précision significatif

### Perspectives de travail:

- Développer une méthodes d'estimation statistique des paramètres du modèle
- Confronter les estimations à des données réelles et évaluer l'apport de la démarche

### Géraldine Thomas-Vallejo

Merci beaucoup, Antoine. Je voudrais juste dire que chez VINCI, nous avons commencé à utiliser le modèle COPERT. D'après ce que j'ai compris, ce n'est pas suffisant. En gros, c'est correct, mais dans le détail, c'est faux.

### Fabien Leurent

Cela dépend des applications.

### Géraldine Thomas-Vallejo

Notre intérêt serait de l'utiliser dans le cadre de stratégies de régulation. Ce n'est donc pas suffisant. Tu nous disais que tu étais au début de ton poste de doctorat. Tu pourras donc nous en montrer plus dans les prochains mois.

### Antoine Tordeux

Tout à fait.

### Géraldine Thomas-Vallejo

Y a-t-il des questions, des commentaires sur cet exposé ou sur l'ensemble des exposés de cette soirée ?

### Frédéric Adam, VINCI Construction France

Je vais avoir une question plutôt en tant qu'utilisateur qu'en connaisseur du trafic routier. Je suis malheureusement usager de la route en Ile-de-France et j'ai l'impression qu'en Ile-de-France, il y a plus souvent un trafic congestionné qu'un trafic fluide. Par rapport aux réseaux du sud où la congestion est présente sur un faible pourcentage de l'année, en Ile-de-France, l'impact environnemental commence à être important. Dans les présentations, je n'ai pas vraiment trouvé le moyen de gérer le trafic congestionné. On a vu tout à l'heure une analyse du trafic fluide, mais on n'a pas beaucoup parlé de la suite des courbes qui étaient en mode congestionné. Je voulais savoir où en était l'état des connaissances vis-à-vis du trafic

congestionné et si les moyens de gestion dynamique du trafic qui ont été présentés tout à l'heure permettaient de gérer le trafic congestionné.

**Géraldine Thomas-Vallejo**

Qui veut apporter un élément de réponse ?

**Aurélien Duret**

Si on active la régulation des vitesses en fluide, c'est bien pour traiter la congestion et pour retarder son apparition. On traite la congestion en fluide. Ce n'est pas pour cela qu'on ne traite pas du tout de la congestion. En Hollande, à la Technical University de Delft, ils ont développé une méthode pour traiter la congestion par la régulation des vitesses. Ils ont montré que théoriquement, il est possible de résorber la congestion en déclenchant un dispositif de régulation des vitesses. Ils l'ont mis en place et apparemment, il fonctionne. C'est une méthode qui s'appelle « Specialist ». C'est un phénomène peu connu car il est récent, mais c'est un autre moyen de traiter la congestion. Il me semble qu'ils l'ont fait en périurbain. On parlait des zones qui sont régulièrement congestionnées ; le périurbain en fait partie.

**Géraldine Thomas-Vallejo**

Je vais passer la parole à Samuel Maurice d'Escota.

**Samuel Maurice, Escota**

Bonsoir. Je travaille à Escota, je suis en charge de tous les dossiers de procédure, des études d'impact, etc. Je vois passer beaucoup de modélisations. Pour l'instant, votre approche n'a jamais été soulevée par les services de l'Etat qui s'intéressent uniquement à l'application stricte d'une circulaire de 2005 sur la modélisation des effets sur la santé des polluants au niveau des infrastructures autoroutières. Dans votre approche, je voudrais savoir si vous avez pris en considération les seuils réglementaires en matière de rejets. Je pense qu'il peut être intéressant de faire un lien avec les seuils à ne pas dépasser qui sont définis par les textes et d'avoir une approche beaucoup plus fine en termes de rejets polluants et de régulation. Dans nos études d'impact, nous restons sur la vitesse moyenne et nous ne nous occupons jamais des incidences du trafic et des problèmes de saturation de régulation. Je pense qu'il serait intéressant de faire ce lien. Cela permettrait aux services de l'Etat de recevoir plus favorablement nos projets en termes de rejets polluants. Actuellement, on met des niveaux de rejets polluants, mais on n'a jamais trouvé de solution pour permettre de rester sous les seuils lorsque ceux-ci sont dépassés. Je pense que votre démarche est intéressante et qu'il faut surtout faire le lien avec les seuils réglementaires.

**Antoine Tordeux**

Pour l'instant, je n'ai pas abordé les notions de seuils. Je me suis limité à considérer des véhicules satisfaisant à une norme, sans tenir compte de la mixité du trafic. J'ai pris tous les mêmes véhicules, mais dans les perspectives de travail, j'imagine que nous allons développer ces aspects.

**Samuel Maurice**

Avec les lois Grenelle de l'environnement, sont apparus un certain nombre de schémas dont le schéma de la qualité de l'air qui va fixer, au niveau régional, des seuils à ne pas dépasser. Ensuite, ces schémas vont être appliqués par département. Dans chaque département, il y aura donc des seuils de rejet à ne pas dépasser. Je pense que cette approche est donc très intéressante. Elle permettra de légitimer nos infrastructures, si l'on peut montrer qu'avec une régulation, on peut rester en-deçà des seuils.

**Géraldine Thomas-Vallejo**

Est-ce que quelqu'un souhaite encore intervenir ? Je pense que cette conférence a été déjà bien chargée. Je remercie les intervenants de ce soir et vous aussi qui avez réagi et avez apporté votre connaissance sur le sujet. Comme d'habitude, nous allons clore ensemble par un pot de l'amitié pour continuer à échanger sur le sujet. Bonne soirée à tous.