



HAL
open science

Induction et évaporation de trafic : revue de la littérature et études de cas

Yves Crozet, Aurélie Mercier

► **To cite this version:**

Yves Crozet, Aurélie Mercier. Induction et évaporation de trafic : revue de la littérature et études de cas. [Rapport de recherche] Laboratoire Aménagement Economie Transports – LAET (UMR 5593); Métropole de Lyon, Hôtel de la Métropole, 20 rue du Lac, 69003 Lyon. 2016, pp.47. halshs-01480663

HAL Id: halshs-01480663

<https://shs.hal.science/halshs-01480663>

Submitted on 1 Mar 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



LABORATOIRE
AMÉNAGEMENT
ÉCONOMIE
TRANSPORTS

TRANSPORT
URBAN PLANNING
ECONOMICS
LABORATORY

Induction et évaporation de trafic : revue de la littérature et études de cas

Etude réalisée pour le service voirie de la Métropole de Lyon

Novembre 2016

**Yves CROZET
Aurélie MERCIER**



Table des matières

Introduction.....	3
Partie I : Que savons-nous de la congestion routière en zone urbaine ?.....	3
1) Auto-mobilité et congestion routière: état des connaissances	4
1.1) Abondance automobile et temps perdu dans les embouteillages	4
1.2) Les modèles analytiques	8
Construction de la courbe de consommation d'espace par une voiture selon la vitesse.....	11
2) Comment traiter la congestion routière en zone urbaine ?.....	15
2.1) Du péage urbain au report modal.....	15
2.2) Evaporation de trafic et régulation par la congestion	20
3) De la régulation par la congestion à la régulation de la congestion	23
3.1) Inévitable congestion ?	23
3.2) Vers une régulation de la congestion ?.....	27
Partie II : Scénarios de simulation de variation de capacité de voirie et/ou de régulation d'accès	29
1. Mesure de la congestion en situation actuelle	29
2. Tests ciblés : régulation d'accès ou de trafic sur différents sites de l'agglomération.....	31
2-1 Régulation d'accès à la Rocade Est	31
2-2 Suppression du trafic de transit sur la Rocade Est.....	33
2-3 Fermeture à la circulation de l'autopont Pasteur	34
2-4 Réduction de la capacité conjointement à une amélioration des temps de parcours sur les quais Augagneur et Claude Bernard.....	37
2-5 Réduction de la capacité sur l'axe A6/A7.....	38
3. Test à l'échelle de l'agglomération : augmentation des capacités des voiries	40
Conclusion	45
Bibliographie.....	47

Introduction

La circulation automobile en zone urbaine est un casse-tête dans toutes les grandes agglomérations. La démocratisation de l'accès à la voiture particulière a en effet conduit, dans les pays développés il y a quelques décennies et dans les pays en développement aujourd'hui, à une saturation récurrente des voiries. Accompagnée d'effets externes comme la pollution ou le bruit, la congestion routière est devenue une question centrale et redoutable pour les décideurs publics locaux. Face à la marée automobile, les réponses politiques ont évolué avec le temps, sans pouvoir trouver la « martingale » qui réglerait définitivement le problème.

L'objectif de ce rapport est d'abord, dans une première partie, de dresser un état des lieux des connaissances et des pratiques en matière de gestion de la congestion routière. Pourquoi cette dernière est-elle plus ou moins inévitable et parfois considérée au moins autant comme une solution que comme un problème ? Pourrait-on envisager de substituer une régulation de la congestion à la régulation par la congestion qui prévaut un peu partout aujourd'hui (I) ?

Dans cette perspective, la seconde partie teste, pour l'agglomération lyonnaise, différents scénarios de régulation du trafic (II).

Par ailleurs, un document annexe rassemble les fiches techniques rédigées pour résumer certains documents clés.

Partie I : Que savons-nous de la congestion routière en zone urbaine ?

Dans les années 1960 et 70 les politiques publiques se sont efforcées d'adapter la ville à la voiture, en élargissant les voiries ou en créant des trémies ou des intersections en dénivelé. Mais cela n'a souvent conduit qu'à aggraver la congestion du fait d'un effet **d'induction de trafic**.

C'est ce que nous rappelons dans une première sous-partie. Après avoir rappelé la prégnance des phénomènes de congestion routière dans les grandes agglomérations, nous verrons comment les modèles analytiques ont expliqué ce phénomène contre-intuitif selon lequel une amélioration de l'offre de voirie se traduit, en zone urbaine, par la persistance, voire l'accentuation de la congestion routière (1).

Face aux limites des réponses centrées sur l'offre de voirie et son management (plans de circulation, régulation des feux tricolores...), les politiques publiques ont tenté de susciter un report vers les transports collectifs, notamment en développant des solutions de mobilité alternatives à l'automobile. Des mesures de restriction ont même été adoptées ici ou là, pour compliquer la vie des automobilistes et provoquer une **évaporation de trafic**. La seconde sous-partie analysera les

fondements de cette méthode qui vise à réduire la pression que l'automobile fait peser sur la ville (2).

Mais jusqu'où contraindre l'automobile, faut-il aller jusqu'à son bannissement des zones urbaines comme y invitent des slogans du type « en ville sans ma voiture », largement utilisés lors des « semaines de la mobilité » ? Avancer dans cette direction revient à adopter une régulation par la congestion. Considérée au départ comme un problème, la saturation de la voirie devient, au moins implicitement, une solution. Après avoir rappelé la réalité de cette **régulation par la congestion**, la troisième sous-partie montre qu'il est possible d'envisager des solutions moins négatives, sous forme de **régulation de la congestion**. L'ambition est alors de viser ce qu'il est aussi convenu d'appeler une fluidité lente. Un objectif qui ne va pas de soi mais qui peut donner naissance à une gestion des trafics plus rationnelle et plus explicite pour les utilisateurs (3).

1) Auto-mobilité et congestion routière: état des connaissances

Les enquêtes auprès des habitants des grandes agglomérations révèlent un sujet de mécontentement universel : les embouteillages et les pertes de temps qui en résultent. Mais dans ce sentiment général, il faut distinguer deux choses. L'une est un constat bien connu : plus la taille de la ville s'accroît, plus augmente le budget temps de transport (BTT) quotidien. Cela ne provient pas des embouteillages mais du fait que la grande ville offre un plus grand nombre d'opportunités (emploi, résidence, loisirs...) qui suscitent une mobilité accrue. A ce mécanisme d'une hausse du BTT, acceptée car elle est compensée par une utilité accrue du déplacement, s'ajoutent les éventuels problèmes de congestion, lesquels peuvent d'ailleurs concerner aussi bien les transports collectifs¹ que la circulation automobile.

Nous allons dans cette première partie nous concentrer sur la congestion routière, sa mesure (1.1) et son analyse (1.2)

1.1) Abondance automobile et temps perdu dans les embouteillages

La première approche de la congestion routière, simple, consiste à s'intéresser au temps perdu dans les embouteillages. Le Tableau 1 illustre ce type de mesure de la congestion sous forme de nombre d'heures perdues en moyenne chaque année du fait de la congestion routière. Pour effectuer ce calcul, il faut comparer les temps de parcours moyens d'un automobiliste avec le temps de parcours correspondant à une situation fluide. Si on multiplie ces pertes de temps individuelles par le nombre de personnes en circulation, on obtient des millions d'heures perdues dans les embouteillages. Ces résultats en millions sont faits pour frapper l'imagination et laisser penser que le phénomène est absolument insupportable par son ampleur. Le tableau 1 permet au contraire de relativiser les

¹ En Ile-de-France, ceux qui se déplacent en RER ont un BTT plus élevé que ceux qui utilisent la VP. Non pas à cause de la congestion du trafic mais parce qu'ils disposent d'un mode rapide qui leur permet de franchir des distances croissantes. Dans les TC, la saturation se traduit d'abord par l'inconfort, puis par les retards et manques de fiabilité.

choses. Ainsi, une perte annuelle de 45h en région parisienne représente l'équivalent de 12 minutes par jour perdues dans les embouteillages. Pour Nantes, 30 heures équivalent à 7 minutes par jour.

Tableau 1 : Les 10 zones métropolitaines les plus saturées de France en 2015

France Métropolitaine	Heures perdues en 2015	Différence/2014 (en heures)
Paris	45,35	0,1
Lyon	36,07	-4,4
Toulon	35,48	1,2
Bordeaux	34,83	-1,1
Toulouse	34,72	-1,4
Strasbourg	33,8	-0,6
Grenoble	31,28	0,2
Nantes	30,58	0,1
Rennes	27,95	=
Caen	25,15	0,1

Source : INRIX

En moyenne, les pertes de temps quotidiennes ne sont donc pas si élevées. D'autant que l'on peut contester la situation de fluidité choisie comme référence pour calculer les pertes de temps. Par définition, une ville qui fonctionne est une ville où le trafic est plus important en période de pointe qu'en heure creuse. Les indicateurs de congestion fondés sur la perte de temps sont donc sensibles aux hypothèses retenues pour définir la situation de fluidité.

La littérature anglo-saxonne² distingue généralement 3 indicateurs principaux de la congestion :

- Le « **Roadway Congestion Index (RCI)** ». Il mesure l'étendue de la période de pointe selon le rapport entre débit total quotidien et offre du réseau routier.
- Le « **Travel Rate Index (TRI)** ». Il indique le rapport entre le temps additionnel requis pour réaliser un parcours en heure de pointe et le temps nécessaire en période d'écoulement fluide des trafics.
- Le « **Travel Time Index (TTI)** ». Il est constitué sur la même base que le TRI mais inclut la congestion causée par les incidents en plus d'une congestion récurrente.

Le tableau 1 est fondé sur le TTI mais il est exprimé en valeur absolue (quantité de temps perdu), plutôt qu'en valeur relative. Si un ratio avait été calculé, il serait aux alentours de 15% de temps additionnel par rapport à un niveau de fluidité qui reste hypothétique.

² Urban Mobility Index (Schrank & Lomax, 2001) et NCHRP Report 398 (Levinson, et al., 1997).

Tableau 2 : les heures perdues dans les principaux points noirs en France

	Route	De	A	Distance (km)	Période de pointe	Pire jour / heure	Heures perdues (par an)
Paris	A86	Saint-Denis centre	A86 / A14	14,1	Après-midi	Mardi 18h	85,92
Paris	Périphérique Extérieur	Porte Maillot – Bois de Boulogne	Porte de Clignancourt	13,6	Après-midi	Vend 17h	74,68
Paris	Périphérique Extérieur	Porte de Saint-Cloud	Porte d'Orléans	1,5	Après-midi	Vend 18h	74,56
Paris	Périphérique Intérieur	Porte de Saint-Cloud (E2)	Porte d'Orléans (E1)	11,9	Après-midi	Mardi 18h	72,08
Paris	Périphérique Intérieur	Porte de Bagnole	Porte de Charenton	9,5	Après-midi	Jeudi 18h	56,36

Source : INRIX

En tout état de cause, il est peu significatif de parler de 15% de temps de trajet supplémentaire du fait de la congestion. Cette dernière n'est en effet pas distribuée de façon homogène dans l'espace et dans le temps. Certains itinéraires sont plus concernés que d'autres. Comme le montrent les tableaux 2 et 3 il existe, à Paris et en Province des points noirs précisément localisés.

Tableau 3 : heures perdues dans les principaux points noirs en province

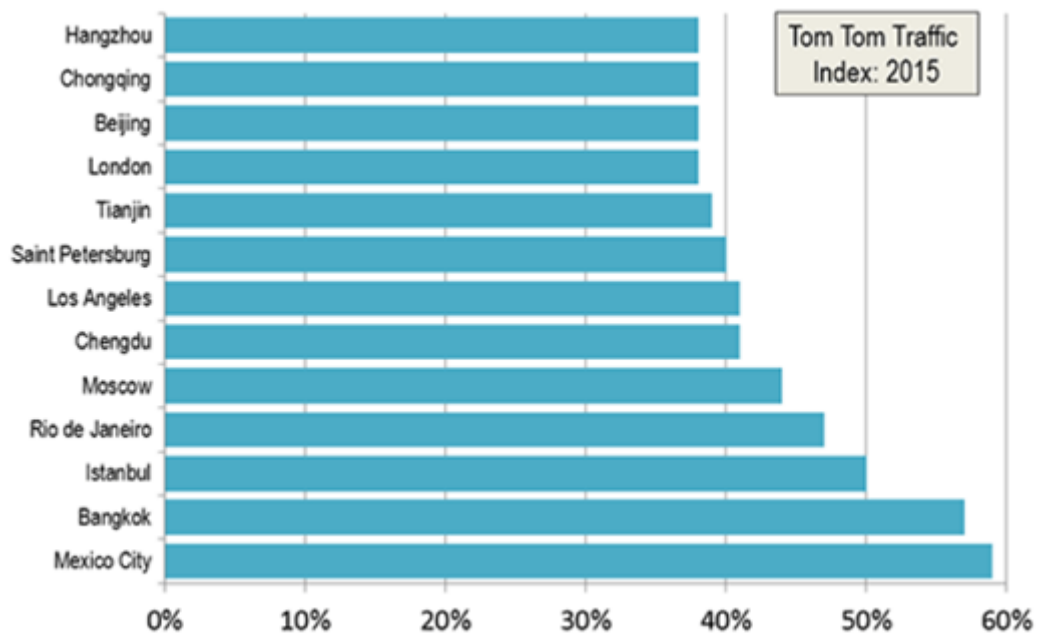
Rang	Zone	Route	De	A	Distance (km)	Période de pointe	Pire jour / heure	Heures perdues /an
1	Rouen	D6015	Rouen Saint-Paul centre Ville	Notre-Dame-de-Bondeville Plc Aristide Briand [N15]	16,9	Après-midi	Lundi 18h	28,16
2	Lyon	A6	Écully – Le Pérolier	Tunnel sous Fourvière – entrée sud	9,2	Après-midi	Mardi 18h	22,64
3	Bordeaux	A630	Eysines – Le Bouscat	A630 / A63	15,6	Après-midi	Mardi 18h	21,36
4	Lille	A25	La Chapelle-d'Armentières	Lille Ronchin	20	Matin	Mardi 8h	20,24
5	Grenoble	N87	Domaine universitaire	Le Rondeau	10,3	Après-midi	Vend 17h	16,48
6	Lyon	A6	Tunnel sous Fourvière – entrée nord	Complexe Perrache – sud	5,1	Après-midi	Vend 16h	13,96
7	Lille	A1	Aire de Phalempin Est	Lille-Lesquin	14,8	Matin	Jeudi 08h	13,64
8	Toulon	A57	La Supiere, Valette-du-Var	La Palasse	5,1	Après-midi	Vend 18h	13,08
9	Grenoble	A480	Les Martyrs	Louise-Michel	7	Après-midi	Vend 17h	12,88
10	Rouen	D18E	Carrefour de quatre-mares	Rouen Pont Mathilde	5,8	Après-midi	Mardi 17h	12,48

Source : INRIX

Un automobiliste régulièrement touché par ces points noirs pourrait perdre jusqu'à plus de 85 heures par an pour le cas extrême de l'Île de France et jusqu'à 22h pour la Province. Pour cette dernière, il s'agit des accès au tunnel de Fourvière. Un exemple que nous retrouverons dans les pages qui suivent car il permet d'expliquer en quoi il n'est pas suffisant de décompter des pertes de temps, sans regarder ce qui se passerait sur d'autres itinéraires. Mais avant d'en venir à l'analyse,

rappelons que la congestion routière peut atteindre des niveaux beaucoup plus élevés que ce que nous connaissons en France. La figure 1 montre ainsi que dans de nombreuses agglomérations, le temps de trajet réel est plus de 40, voire 50% supérieur au temps de trajet sans congestion, soit un ratio 3 à 4 fois supérieur à ce que nous observons en France.

**Figure 1 : Temps de trajet supplémentaire dû à la congestion
(Villes de + de 5 millions d'habitants)**



Source ; Tom Tom Traffic Index

La congestion routière en zone urbaine est un problème universel et le développement à l'échelle mondiale de mégalo-poles de plus en plus nombreuses ne va pas faire disparaître ce problème. Pour en comprendre les tenants et les aboutissants, il est donc nécessaire de se doter de modèles analytiques.

1.2) Les modèles analytiques

L'analyse de la congestion routière a été faite par une discipline appelée ingénierie de trafic. Elle est née dans les années 1920 aux Etats-Unis, au fur et à mesure que se développaient les autoroutes (highways) et l'équipement des ménages en automobile. Le premier constat des ingénieurs de trafic a été que la congestion était un phénomène très sensible au niveau de trafic. En France, le SETRA a récemment déterminé différents niveaux de congestion ou plutôt de « temps gêné » qui sont résumés dans le tableau 4. Il s'agit d'indicateurs de congestion sur des itinéraires interurbains pour une voirie à deux fois deux voies. Le niveau de congestion dépend du niveau de trafic. Lorsque ce dernier est inférieur à 62 000 véhicules jours, on parle de fluidité. Le temps gêné est inférieur à 3%. Lorsque le trafic augmente, le temps gêné progresse plus que proportionnellement

Tableau 4 : Fluidité, congestion, « temps gêné » et temps perdu

Caractérisation de la situation	Pourcentage temps gêné pour les VL en moyenne annuelle	TMJA (véh/j) 2 sens	Fréquence moyenne des saturations	Pourcentage temps perdu pour les VL en moyenne annuelle
Fluide	< 10 %	< 62 000	Des ralentissements ou des attentes de courte durée ne sont pas exclus, mais ils ne sont pas localisés	< 3 %
Dégradée	10 à 20 %	62 000 à 70 000	Hors été, la saturation apparaît en moyenne 1 jour sur 20, principalement aux périodes de fêtes et vacances scolaires	3 % à 7 %
Fortement dégradée	20 à 45 %	70 000 à 81 000	Hors été, la saturation apparaît en moyenne 2 jours par mois, principalement aux périodes de fêtes et vacances scolaires	7 % à 16 %
Très fortement dégradée	> 45 %	> 81 000	Hors été, la saturation apparaît en moyenne 3 jours par mois aux périodes de fêtes et vacances scolaires et certains jours ouvrables	> 16 %

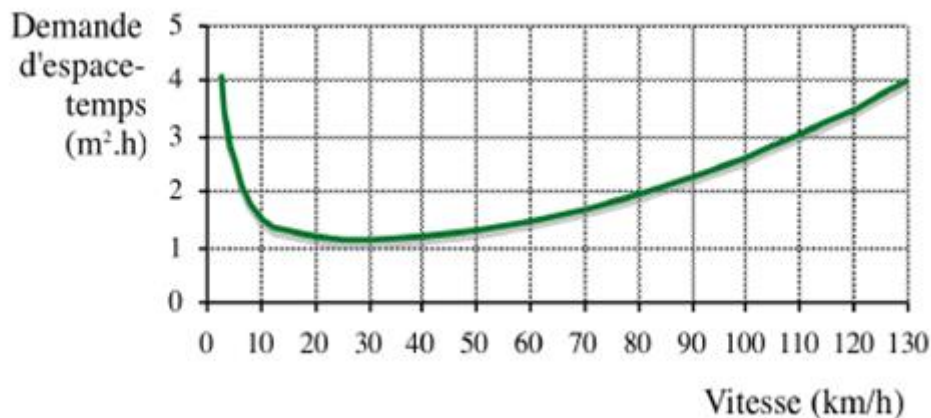
Source : SETRA 2009

Ce tableau nous apporte deux informations clés.

- La première est que le temps perdu n'est pas la même chose que le temps gêné. En situation très fortement dégradée, ce dernier peut être supérieur à 45% mais cela n'implique qu'une part presque 3 fois moindre pour le temps de parcours (>16%). Cela provient du fait qu'un automobiliste ne fait pas tout son parcours dans la zone très fortement congestionnée. C'est ce qui rend la congestion plus supportable que ce que l'on croit. Comme elle n'affecte le plus souvent qu'une partie du parcours, la vitesse moyenne de l'origine à la destination n'est pas si mauvaise que le pense le sens commun. Et c'est aussi pour cette raison que la congestion perdure.
- La seconde est que l'on bascule très vite d'une situation dégradée (70 000 véhicules/jour) à une situation très fortement dégradée (+81 000v/j). Cela tient au fait que la voirie n'est pas extensible et que l'occupation de l'espace devient de plus en plus problématique.

L'ingénierie de trafic a donc formalisé la consommation d'espace d'un véhicule. Elle a ainsi constaté que plus un véhicule se déplace rapidement, plus il consomme d'espace comme le montre la figure 2. Plus précisément, comme la voiture se déplace à la fois dans l'espace et dans le temps, il s'agit d'une consommation d'espace-temps mesurée en $m^2 \cdot h$ (la démonstration et le détail de la construction de la courbe sont présentés dans l'encadré page suivante). Ainsi, entre 20 et 40 km/h, une automobile consomme un peu plus de $1m^2 \cdot h$ alors qu'à 130 km/h elle en consomme près de 4 fois plus.

Figure 2 : consommation d'espace-temps d'une automobile en fonction de sa vitesse.



Source : F. Héran 2008

Cette surconsommation d'espace liée à la vitesse s'explique par le fait qu'il faut accroître les distances de sécurité entre les véhicules. A 130km/h, il n'est pas possible de rouler parechoc contre parechoc, ce qui est possible à vitesse réduite. Notons cependant qu'une vitesse très faible accroît aussi la consommation d'espace-temps car dans ce cas-là, le débit est trop faible. Il existe donc une vitesse optimale qui n'est ni celle de la marche à pied ni celle que permet la puissance des voitures. En zone dense, la vitesse optimale pour la collectivité, celle qui minimise la consommation d'espace est entre 20 et 40 km/h. Il y a là un facteur majeur d'incompréhension pour les automobilistes. Alors que leur véhicule peut rouler très vite et que la réglementation le permet (vitesse autorisée de 90, 70 ou 50 km/h selon les cas), l'optimum pour la collectivité est plutôt entre 20 et 40km.h lorsque la saturation menace. Un automobiliste aura donc toujours le sentiment de subir la congestion car la vitesse optimale du point de vue de la collectivité n'est pas celle qu'il vise.

Construction de la courbe de consommation d'espace par une voiture selon la vitesse

La démonstration est réalisée à partir des travaux de F. Héran (voir HERAN et al., 2008)

Comme le souligne F. Héran, la demande d'espace-temps de circulation augmente très rapidement avec la vitesse " parce qu'à la fois la distance inter-véhiculaire et la largeur moyenne d'emprise par file de circulation s'accroissent principalement avec le carré de la vitesse. Mais le gain de temps, permis par une vitesse accrue, limite cette progression ». La consommation d'espace-temps de circulation s'écrit :

$$Cd_k = SD * T_k$$

Avec :

Cd_k la consommation d'espace-temps de circulation (ou de déplacement) par km parcouru,

SD la surface dynamique,

T_k le temps pour parcourir 1 km.

On considère $T_k = 1/3,6V$ avec V la vitesse

Soit

$$Cd_k = SD / 3,6V$$

La Surface dynamique est la surface consommée par un véhicule en mouvement (SD) et se calcule comme suit :

$$SD = (L + DI) * LME_F$$

Avec :

L la longueur du véhicule (on considère $L=4$ mètres pour une voiture)

DI la distance intervéhiculaire (on considère $DI = V + 0,01371 * V^2$)

LME_F la largeur moyenne d'emprise par file de circulation (on considère $LME_F = 2,2 + 0,0052 V^2$)

Pour les détails des calculs, voir voir HERAN et al., 2008 (pages 31 à 34)

On obtient alors :

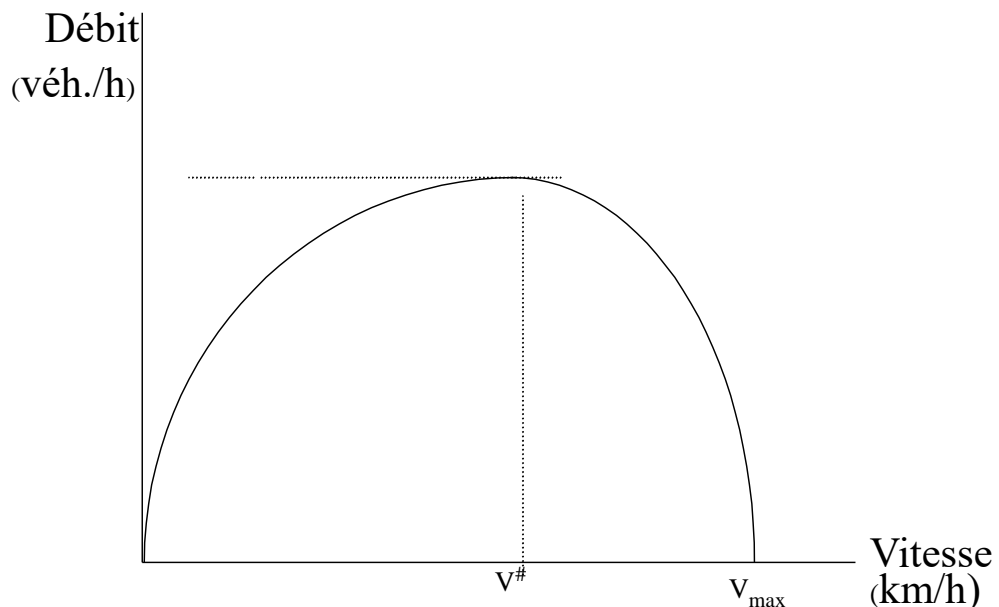
$$Cd_k = ((4 + (V + 0,01371 * V^2) * (2,2 + 0,0052 V^2)) / 3,6V$$

Soit

$$Cd_k = 2,444V^{-1} + 0,611 + 0,014156 V + 0,001444 V^2 + 0,0000198 V^3$$

Nous avons là un hiatus fondamental entre les points de vue individuels et collectifs. Les automobilistes raisonnent en temps de parcours et donc en **vitesse car le temps est pour eux la ressource la plus rare. Pour la collectivité au contraire la ressource la plus rare est l'espace** et elle doit en optimiser l'usage, fut-ce au prix d'une réduction de la vitesse. C'est ce que résume la courbe débit-vitesse présentée dans la figure 3. Lorsque le nombre de voitures qui circule est faible, la vitesse peut être élevée mais le débit est très faible. Pour accroître le débit, il faut réduire la vitesse. C'est la partie droite de la figure que l'on désigne par régime laminaire. De plus en plus de voitures ne peuvent pas rouler de plus en plus vite. A partir d'un certain niveau de trafic (environ 70 000 véhicules/jour pour une 2x2 voies), la vitesse va continuer à baisser mais le débit également. Nous entrons alors dans le régime forcé, sur la partie gauche de la courbe. Le nombre de véhicules peut augmenter mais au prix d'une dégradation et de la vitesse et du débit. Au pire, tout le monde est à l'arrêt, ce n'est plus une route mais un parking (point bas à l'extrême gauche de la courbe) !

Figure 3 : La courbe débit-vitesse

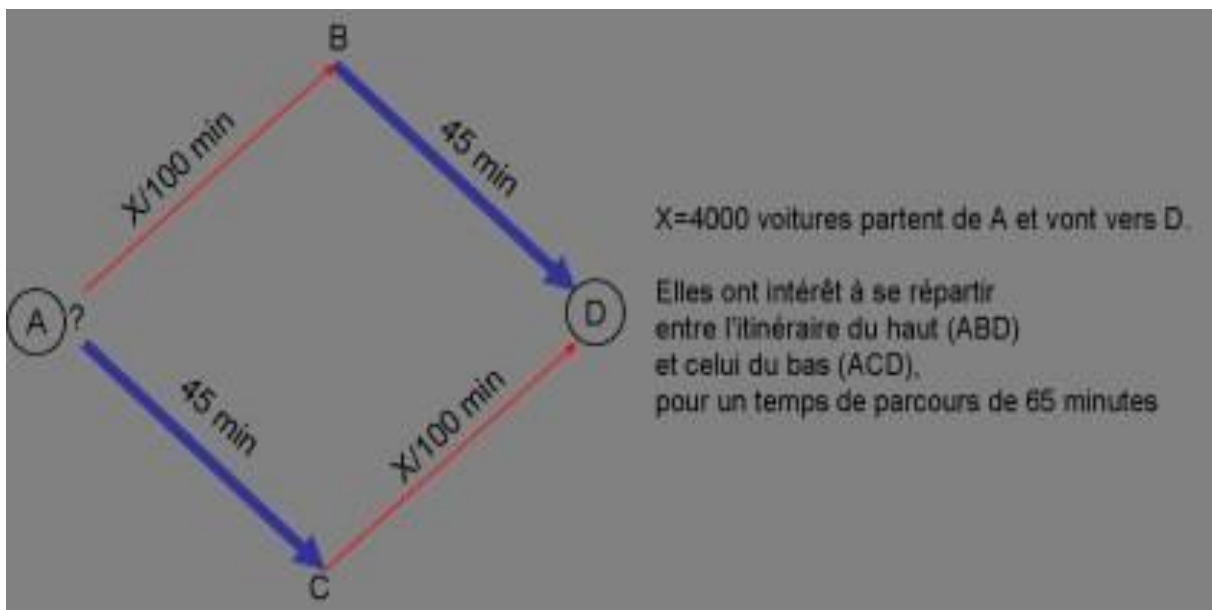


La courbe débit-vitesse est le premier modèle analytique qui permet de comprendre l'incompréhension des automobilistes confrontés à la congestion. Mais ils ne sont pas les seuls à se heurter à un casse-tête. Il en va de même en effet pour les décideurs publics. Confrontés aux plaintes des automobilistes qui fustigent le temps perdu dans les embouteillages, les décideurs publics locaux considèrent en effet que la congestion résulte d'une insuffisance de voirie. Il leur paraît donc logique de se lancer dans des chantiers d'élargissement ou d'extension des voiries.

Sans remettre en cause le principe même de modernisation et de développement de la voirie, il faut toutefois garder à l'esprit que dans certaines situations, cela peut se traduire par un accroissement et non par une diminution de la congestion. Ce paradoxe a été présenté il y a plus de 50 ans par un chercheur Allemand N. Braess. Il est donc connu sous le nom de paradoxe de Braess mais aussi, sous une forme légèrement différente, de paradoxe de Downs-Thomson. Il se résume à l'idée **que toute création d'infrastructure nouvelle provoque plus de congestion, surtout si cela se traduit par de l'induction de trafic.**

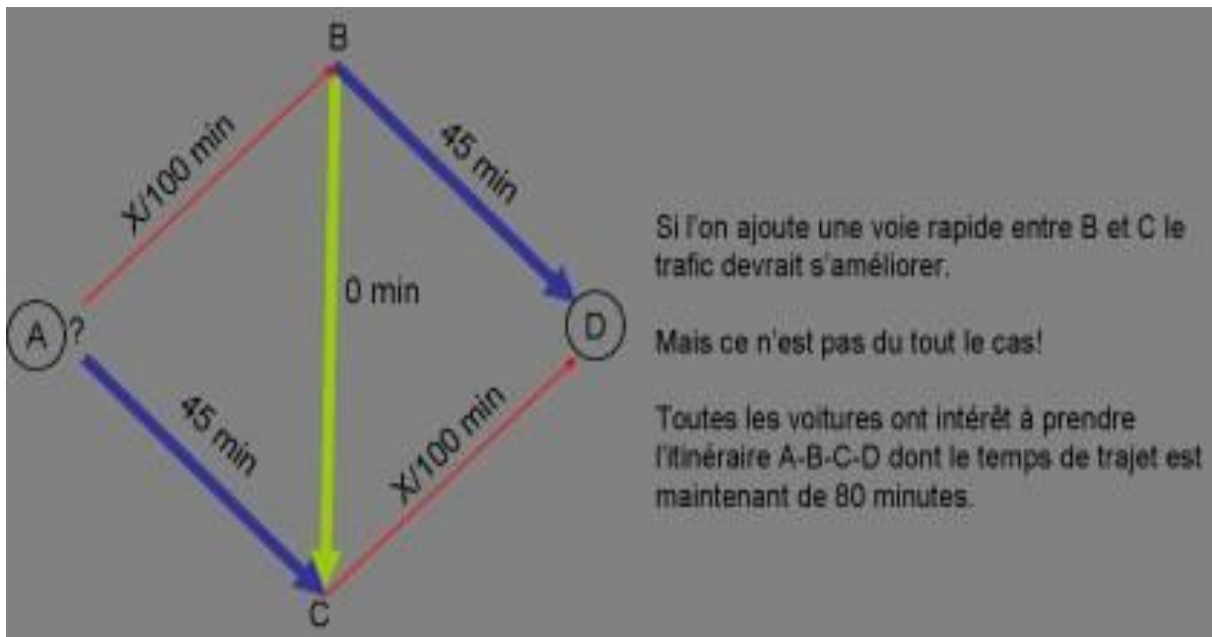
Mais l'intérêt du paradoxe de Braess est de montrer que la congestion augmente même sans induction de trafic. Pour cela, comme indiqué dans les figures 4 et 5, il suffit d'imaginer un réseau en forme de losange. 4000 véhicules doivent se rendre de A à D, en passant par B ou par C. Pour chaque itinéraire une partie (AC ou BD) ne connaît pas de congestion, le temps de parcours est de 45mn. Mais sur l'autre partie de l'itinéraire, le temps de parcours dépend du trafic. Il est égal en minutes au nombre de véhicules divisé par 100. L'optimum est donc de partager le trafic en deux parties égales. 2000 véhicules par le Nord et 2000 véhicules par le Sud ce qui donne un temps de parcours identique pour chaque itinéraire : 65 mn ($45 + (2000/100)$).

Figure 4 : Le paradoxe de Braess, situation initiale



La nouvelle situation que présente la figure 5 imagine un cas de figure improbable mais significatif. Un nouvel axe est créé entre B et C dont le temps de parcours est nul. En première analyse, cela devrait améliorer les choses car c'est une capacité supplémentaire. Mais cette capacité va justement attirer du trafic, en réalité tout le trafic. Tout le monde va donc prendre l'itinéraire ABCD et le temps de parcours sera de 80 mn soit une dégradation par rapport à la situation initiale.

Figure 5 : Le paradoxe de Braess, situation avec une nouvelle infrastructure



Ce résultat paradoxal s'explique si l'on raisonne par itération. Supposons que le trafic est au départ réparti également : 2000 voitures par le Nord et 2000 par le Sud. Lorsque l'axe BC apparaît, ceux qui utilisaient l'itinéraire Nord savent qu'arrivés au point B, il leur reste encore 45 minutes. S'ils empruntent BC puis CD, ils pensent qu'ils mettront seulement 20 minutes soit le temps de parcours de CD avec 2000 véhicules. Mais si les 2000 véhicules de l'itinéraire Nord font de même, alors le temps de trajet sur CD passe à 40 minutes. Ajoutés aux 20 minutes de l'itinéraire AB, cela donne 60 minutes, moins que précédemment. Ce sont alors les utilisateurs de l'itinéraire Sud qui vont se reporter sur AB, puis BC et enfin CD. Le temps de parcours devenant alors 40 minutes sur AB et CD, le temps total de parcours devient de 80 minutes.

Cette démonstration contient bien sûr un élément irréaliste, un segment à temps de parcours nul. Mais cette hypothèse est là simplement pour montrer ce qui se produit lorsque les automobilistes ont à leur disposition des options alternatives qui leur font gagner du temps. Il est alors fort probable que chacun cherche à gagner du temps, au risque de déboucher sur un effet pervers, un résultat négatif non voulu, fruit d'une somme de décisions individuelles rationnelles.

Le tunnel de Fourvière à Lyon est un très bon exemple de ce cas de figure. Les 2 km du tunnel (1853 mètres exactement) ne se font pas en zéro minute, mais, avec les voiries à caractéristiques autoroutières qui l'alimentent, il permet en heure creuse des gains de temps considérables par rapport aux itinéraires alternatifs. Pour aller du Nord au Sud de l'agglomération, mais aussi pour rejoindre le centre ou l'Est depuis l'Ouest, il offre sans conteste le meilleur temps de parcours. Il fonctionne donc comme un « aspirateur de trafic ». Les embouteillages et les pertes de temps qui se manifestent au nord et au sud du tunnel ne doivent pas être comparés au temps de trajet à vide mais à ce que serait le temps de parcours avec d'autres itinéraires. C'est la raison pour laquelle les outils de navigation invitent les automobilistes à prendre le tunnel même s'il y a 15 minutes de perte de temps par rapport à la situation fluide.

Les choses se corsent lorsqu'on ajoute à cela de l'induction de trafic. Les gains de temps que permet le tunnel, même en période chargée, génèrent de nouveaux déplacements et une évolution des localisations qui engendrent du trafic. Habiter à Ecully revient à résider tout proche du centre-ville en heure creuse et même en heure de pointe. Un mardi matin à 8h, il faut peut-être 20 ou 25 minutes pour rejoindre l'avenue Berthelot depuis Ecully. Mais c'est peu de choses par rapport à l'itinéraire alternatif passant par Vaise ou par Tassin et Fourvière. Par son tracé et ses caractéristiques autoroutières, ce tunnel draine finalement des trafics très importants (jusqu'à 115 000 véhicules/jour, un peu moins aujourd'hui) qui transitent par le centre-ville sans être majoritairement à destination du centre-ville.

Les trafics en question sont majoritairement des trafics locaux³. Ainsi, le tunnel de Fourvière joue le rôle d'un périphérique comme celui de Paris, mais en passant au cœur de la ville. Comme tout périphérique, il a deux fonctions clés : d'une part **drainer** une partie du trafic qui engorgerait les autres axes et d'autre part **irriguer** l'ensemble de l'agglomération. C'est la raison pour laquelle les trafics sont importants sur de telles voiries à caractéristiques autoroutières, même pour des villes plus petites que Lyon comme Rennes ou Toulouse. Mais c'est justement là que le bât blesse, car en améliorant l'accessibilité routière pour l'ensemble de l'agglomération, ce type de voirie constitue un encouragement à la mobilité automobile. C'est la principale leçon de l'ingénierie de trafic. Dans un monde où le taux de possession d'automobile est élevé, toute amélioration de la voirie induit du trafic nouveau. Offrir plus de voirie n'est donc pas le meilleur moyen de traiter la congestion routière.

2) Comment traiter la congestion routière en zone urbaine ?

Si le développement de la voirie n'est pas la bonne solution pour répondre à la congestion urbaine, quelles sont les autres options ? Comment optimiser l'usage d'une offre donnée de voirie ? A cette question simple, il est possible de répondre en empruntant la boîte à outil de l'économiste : action sur les prix et/ou action sur les quantités. Nous allons présenter successivement ces deux pistes principales qui peuvent d'ailleurs se combiner. Pour cette raison nous rappellerons d'abord la logique du péage urbain et les objectifs de report modal qui lui sont associés (2.1) avant de montrer comment certaines restrictions de voirie peuvent aussi se concevoir dans la perspective d'une évaporation de trafic (2.2)

2.1) Du péage urbain au report modal

La tarification de la congestion est une forme de discrimination qui consiste à instaurer un tarif d'usage de l'infrastructure qui tienne compte du degré de congestion de l'infrastructure. Celui qui est prêt à payer plus pour circuler mieux en heure de pointe retire une plus grande utilité que celui qui préfère payer moins et décaler son déplacement dans le temps, en heure creuse. Ainsi, avec la différenciation temporelle des prix, la collectivité fait coup double :

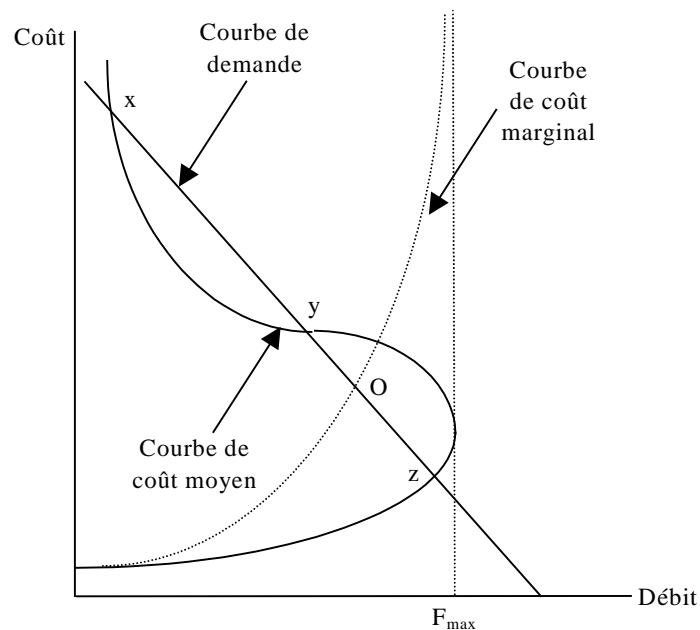
³ Et pas comme on le croit parfois des trafics à grande distance, nationaux ou internationaux, qui représentent moins de 15% du total.

- d'une part elle optimise l'usage de l'infrastructure en tenant compte de l'utilité différentielle des usagers. Le signal prix est pleinement dans son rôle, indiquer les raretés relatives et opérer une sélection entre les demandeurs ;
- d'autre part elle dégage des ressources financières permettant de couvrir les coûts des infrastructures.

Une tarification différenciée en fonction des degrés de congestion de la voirie peut donc contribuer à la fois à l'orientation de la demande, en écartant ceux qui provoquent la congestion et dégradent ainsi la qualité de service, et à l'orientation de l'offre, en donnant la priorité à la construction des infrastructures dont une telle tarification assure la couverture des coûts. Les trois objectifs que se fixe généralement la tarification des services publics (couverture des coûts, orientation de la demande et redistribution) sont ainsi conjointement pris en compte par ce type de tarification ; raison pour laquelle elle est préconisée dans le domaine routier. Mais son application est loin d'être généralisée. Le péage de congestion existe à Londres et à Stockholm pour accéder au centre-ville. On le rencontre aussi à Singapour et dans des villes norvégiennes et de fait à Manhattan. Mais ce qui est une évidence pour les économistes a du mal à se diffuser car le péage de congestion suscite des effets distributifs qui font qu'il y a des gagnants mais aussi des perdants quand on instaure un péage de congestion.

Pour souligner la logique et les limites du péage urbain, revenons à la courbe débit-vitesse. Cette construction des ingénieurs de trafic devient, quand elle est transformée par les économistes, une courbe en S comme celle présentée dans la figure 6. En faisant l'hypothèse que seuls les coûts du temps déterminent le coût de déplacement des usagers, et sachant que le temps de déplacement évolue comme l'inverse de la vitesse, on peut dériver de la courbe débit - vitesse une courbe de coût moyen de déplacement pour une distance et une valeur du temps données. On obtient ainsi la courbe coût moyen-débit.

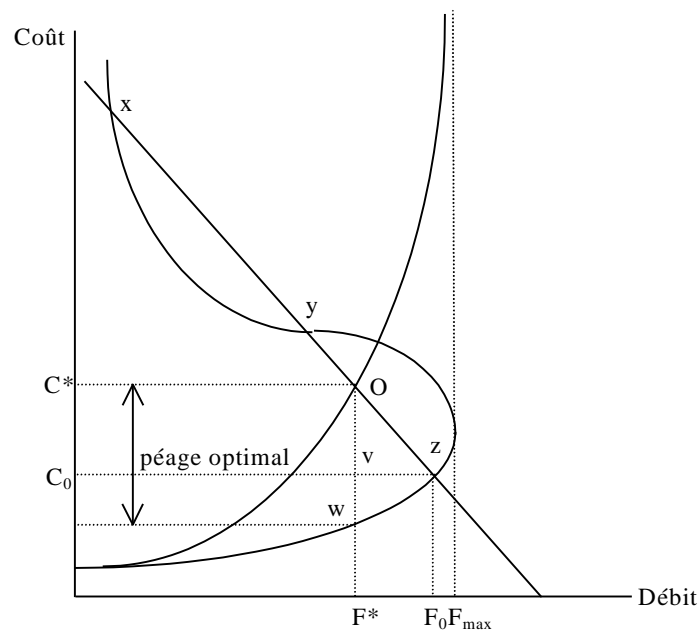
Figure 6 : De la courbe débit-vitesse à la courbe coût moyen-débit



Le débit maximum F_{\max} , suppose un certain niveau de congestion. La pente de la courbe de coût moyen dans la partie basse de la courbe correspond au régime laminaire. Quand le nombre d'automobilistes s'accroît, la vitesse diminue mais le débit continue à augmenter. Au-delà de la capacité maximale, c'est le régime forcé, un accroissement du nombre de véhicules en circulation entraîne une baisse de la vitesse et une réduction du débit. La différence entre la courbe de coût moyen et la courbe de coût marginal représente le coût marginal externe de congestion, c'est-à-dire la part des coûts de congestion imposés par un usager aux autres automobilistes. Cependant, l'utilisateur choisit d'utiliser l'infrastructure en fonction de son coût moyen de déplacement, ce qui aboutit à une « surconsommation » dans la mesure où les coûts supportés par l'utilisateur ne représentent pas l'ensemble des coûts qu'il génère. Dans ces conditions, le péage optimal correspond à la différence entre ces deux grandeurs

Le tarif optimal de court terme correspond à la différence entre le coût marginal et le coût moyen de l'utilisateur. Mais optimal pour la collectivité ne signifie pas forcément optimal pour tous les automobilistes. La figure 7 montre que les usagers peuvent se considérer comme perdants lors de la mise en place d'un péage de congestion. A l'équilibre, en l'absence de péage, le trafic est au niveau F_0 et les usagers supportent un coût moyen C_0 . Mettre en place un péage de congestion revient à prélever une somme équivalant à la distance Ow et déterminant un niveau de trafic F^* inférieur à F_0 . Un certain nombre d'utilisateurs sont donc évincés et subissent une perte variable en fonction du coût de déplacement avec la meilleure alternative (autre route, transports collectifs, etc.).

Figure 7 : Péage optimal et effet distributif



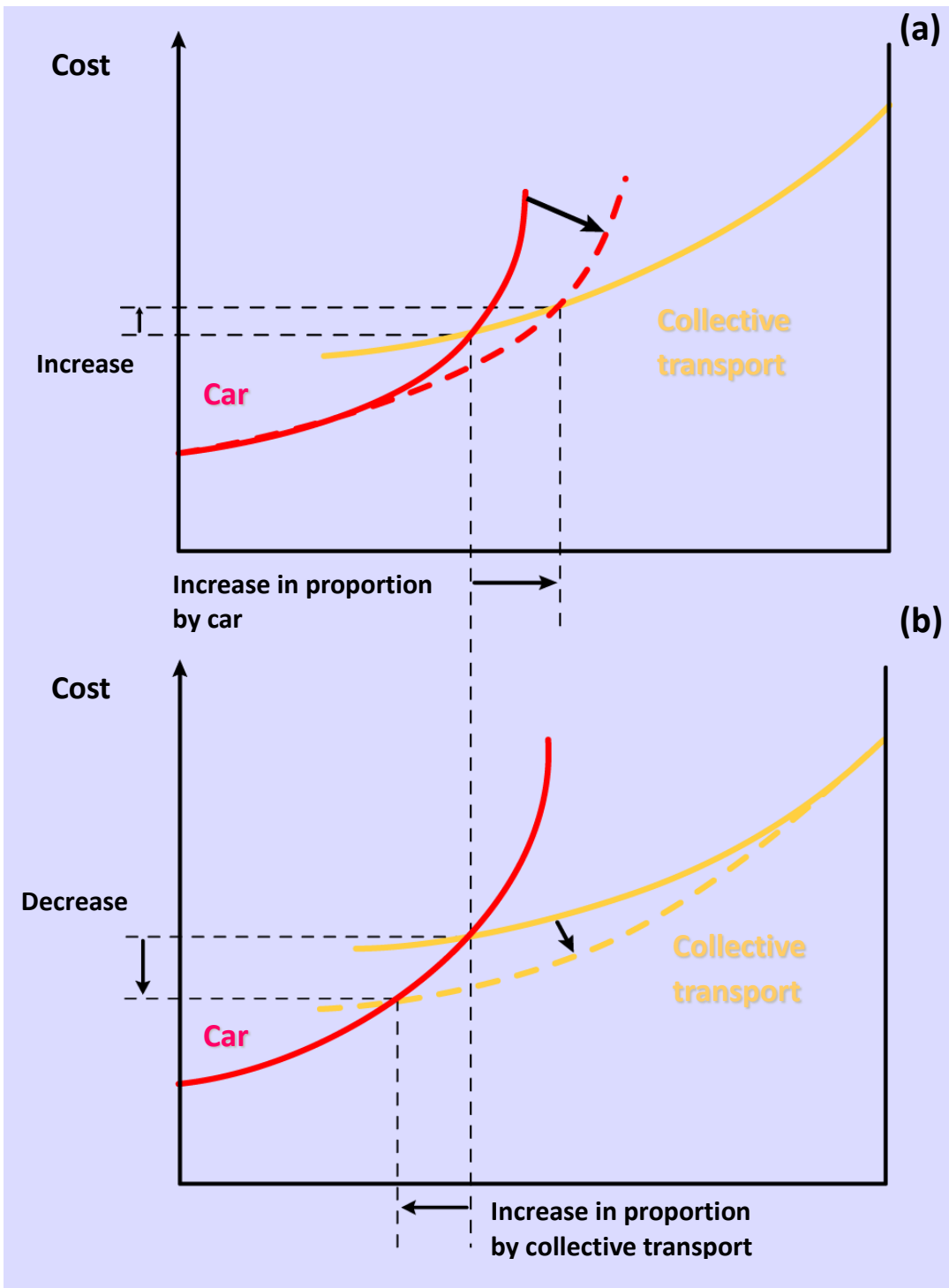
Les usagers restants sont également perdants dans la mesure où ils acquittent un péage Ow , alors que les gains de temps permis par cette tarification sont inférieurs (distance vw). En l'absence de redistribution, le péage est clairement défavorable aux usagers, et la puissance publique en est le principal bénéficiaire. Si l'objectif du péage de congestion est une meilleure allocation de la ressource rare qu'est la voirie, son résultat est un effet distributif au profit de l'entité qui perçoit le péage. Si l'on relâche l'hypothèse d'homogénéité des usagers, c'est à dire si l'on introduit l'idée que les usagers ont des valeurs du temps différentes, alors la tarification optimale au coût marginal social peut favoriser les usagers à plus forte valeur du temps, les autres catégories perdant d'autant plus que leur valeur du temps est faible.

Le seul moyen de rendre acceptable le péage est d'offrir des compensations aux usagers, notamment à ceux qui sont évincés par le péage. Le plus souvent, cette compensation prend la forme d'une amélioration de l'offre de transports en commun. Ainsi, à Londres comme à Stockholm, une partie des recettes de péage est-elle destinée à financer les transports collectifs. C'est une condition d'acceptabilité du péage, mais cela n'en fait pas pour autant du péage une mesure facile à mettre en œuvre. En France, bien que la Loi Grenelle autorise l'expérimentation du péage⁴, aucune ville n'a prévu de mettre en place un péage de congestion. Il existe bien un objectif de report modal, mais plutôt que d'appliquer un péage monétaire, c'est un péage temporel qui a été instauré (Crozet 2005). Les automobilistes ne doivent pas payer plus pour circuler en heure de pointe. Mais ils doivent s'attendre à un allongement des temps de parcours.

Cette logique d'un péage temporel est inspirée de la conjecture de Mogridge (1980). Ce modèle analytique est fondé sur le risque d'induction de trafic. Tout accroissement de l'offre viaire se traduit d'abord par une augmentation de la vitesse moyenne en VP, puis par une croissance de trafic due au trafic induit. Des usagers des TC réalisant que l'automobile va plus vite changent de mode de transport. A subventionnement constant des TC, la perte de voyageurs entraîne pour eux une baisse des recettes et finalement une diminution de l'offre en TC enclenchant un « cercle vicieux ». La proposition de Mogridge consiste à affirmer que sur les couples origine-destination pour lesquels il y a des transports collectifs performants, les individus doivent être dissuadés d'utiliser la voiture comme le montre la figure 8.

⁴ Le péage est autorisé à titre expérimental s'il vise à réduire les impacts environnementaux du trafic et si les recettes sont au moins en partie destinées à financer les transports en commun.

Figure 8 : la conjecture de Mogridge



La partie haute de la figure 8 présente les effets pervers de l'accroissement de l'offre de voirie laquelle se présente sous la forme d'un glissement vers la droite de la courbe rouge, celle qui présente le coût généralisé du déplacement en automobile. Plus de voirie entraîne plus de trafic et finalement un accroissement du coût généralisé de tous les déplacements, en VP et en TC. A la différence de la VP, les TC ont des rendements croissants. C'est pourquoi, comme on le voit sur la partie basse de la figure 8, une amélioration de l'offre TC, sous forme d'un déplacement vers le bas de la courbe jaune, réduit le coût généralisé pour tous les usagers, ceux de la VP et ceux des TC. C'est

ainsi que le rapport INRIX expliquait les bons résultats obtenus par la ville de Lyon (voir tableau 1). Si le temps perdu dans la congestion a diminué en 2015 par rapport à 2014, c'est parce que la pression automobile a été réduite, notamment grâce à la qualité de l'offre alternative que représentent les TC mais aussi les modes doux (Vélo/v) ou le covoiturage. C'est un bon exemple de décongestion relative par une amélioration des offres alternatives.

2.2) Evaporation de trafic et régulation par la congestion

La conjecture de Mogridge peut aussi être utilisée de façon plus dure, voire plus brutale, en considérant que parallèlement au glissement vers le bas de la courbe jaune (coût généralisé du TC), il est possible de faire glisser vers le haut la courbe rouge par le biais d'une réduction de l'espace viaire laissé aux automobilistes. Dans ce cas de figure, la baisse du coût généralisé pour les deux modes est encore plus forte qu'avec la seule action sur les TC. Cette idée d'accroître la pression sur la circulation automobile a été au cœur de la vague de développement des tramways dans les villes françaises depuis la fin des années 1980. Cette volonté de réduire l'espace vital de l'automobile semblait d'autant plus justifiée que les modes alternatifs à l'automobile sont beaucoup moins consommateurs d'espace comme le rappelle le tableau ci-dessous.

Tableau 5 : La demande d'espace-temps de circulation à moins de 50km/h

	m ² .h / véh km	Taux d'occupation	m ² .h / voy km	Ecart / piéton
Piéton	0,3	1	0,3	1
Cycliste	0,6	1	0,6	2
Deux-roues motorisé	1,7	1,05	1,6	5
Voiture	1,8	1,3	1,4	5
Bus de 12 m	7	17	0,3	1,4
à l'heure de pointe	7	50	0,15	0,5
Bus articulé de 18 m	10	23	0,3	1,4
à l'heure de pointe	10	70	0,15	0,5

Source : F. Héran 2008

Une automobile consomme cinq fois plus d'espace qu'un piéton, deux fois et demie plus qu'un cycliste et dix fois plus qu'un bus à l'heure de pointe. N'est-il pas alors légitime de tout faire pour réduire le trafic automobile en heure de pointe ? Il est possible de répondre favorablement à cette question en se fondant sur un phénomène appelé « évaporation de trafic ». De nombreuses études (Phil Goodwin, Carmen Hass-Klau and Sally Cairns 1998) ont en effet constaté que lorsqu'une route est fermée à la circulation, la période de perturbation est en réalité plus courte que celle anticipée. Souvent, une réduction d'environ 25% du trafic est observée sur l'ensemble du territoire concerné. Après analyse de ces cas, il a été montré que l'évaporation de trafic est le résultat d'une variété de phénomènes. Le changement de comportement varie en fonction du temps. Durant la première année, le trafic s'ajuste aux nouvelles conditions. Parfois la congestion empire, parfois il n'y a aucun problème dès le premier jour, notamment si l'information a été bien faite. A plus long terme, il arrive

dans certains cas qu'après une réduction du trafic observée lors de la première année, les véhicules réapparaissent. Dans d'autres cas, la réduction du trafic à long terme est plus importante que celle observée lors de la première année. Pour que la réduction soit pérenne, il est nécessaire de s'assurer que la capacité des itinéraires alternatifs n'a pas augmenté ou qu'il n'existe pas des routes alentour qui sont en mesure d'accueillir de nouveaux véhicules.

Un cas d'école a pu être étudié en France dans la ville de Rouen après la fermeture brutale du pont de la Reine Mathilde suite à un incendie. Cet événement a très vite été retenu comme un cas d'école, un exercice réel de réduction non anticipée et significative de la voirie puisque la circulation à Rouen est caractérisée par l'importance des flux qui traversent la Seine. Or le nombre de ponts est limité, 6 en tout comme le rappelle la figure 9a, et il n'y a pas d'autres ponts à proximité, en aval ou en amont comme l'indique la figure 9b.

Figure 9a : les ponts et la traversée de la Seine à Rouen



Figure 9b : les ponts et la traversée de la Seine en amont en aval de Rouen



Le CEREMA a donc suivi de près l'évolution des trafics sur les 5 ponts restant ouverts et l'évolution des parts modales, VP, TC et modes doux. Le résultat de ce travail est résumé dans le tableau 6. La baisse du trafic n'atteint pas les 25% mentionnés dans les travaux initiaux sur l'évaporation de trafic mais elle est quand même de -15% les jours ouvrables (-35 242 sur un total de 227 533 avant la fermeture).

Tableau 6 : Evolution des trafics à Rouen après la fermeture du pont de la reine Mathilde

		Sept-oct 2012		Sept-oct 2013		Evolution	
		JA	JO	JA	JO	JA	JO
Pont Flaubert	NS	24 106	26 434	26 970	29 529	+2 864	+3 096
	SN	24 044	26 621	29 815	32 203	+5 771	+5 581
	Total	48 150	53 055	56 785	61 732	+8 635	+8 677
Pont Guillaume	NS	23 802	26 646	33 510	37 253	+9 708	+10 607
	SN	20 640	22 738	27 498	30 571	+6 858	+7 833
	Total	44 442	49 384	61 008	67 824	+16 566	+18 440
Pont Jeanne d'Arc	NS	2 847	3 031	3 882	4 262	+1 035	+1 231
	SN	6 835	7 525	9 136	10 195	+2 301	+2 669
	Total	9 682	10 556	13 018	14 457	+3 336	+3 900
Pont Boieldieu	NS	8 317	8 956	20 945	22 755	+12 628	+13 800
	Total	8 317	8 956	20 945	22 755	+12 628	+13 800
Pont Corneille	SN	12 011	13 105	23 687	25 522	+11 676	+12 417
	Total	12 011	13 105	23 687	25 522	+11 676	+12 417
Pont Mathilde	NS	43 573	49 359	0	0	-43 573	-49 359
	SN	38 735	43 117	0	0	-38 735	-43 117
	Total	82 308	92 476	0	0	-82 308	-92 476
Total traversées Rouen	NS	102 645	114 426	85 306	93 800	-17 338	-20 626
	SN	102 265	113 107	90 136	98 491	-12 129	-14 616
	Total	204 910	227 533	175 442	192 291	-29 467	-35 242

De façon plus détaillée, les données pour l'ensemble des modes sont les suivantes :

- - 21 000 véhicules, soit – 26 000 déplacements en partie compensés par,
- + 9 000 validations dans les transports en commun,
- + 3 200 piétons,
- + 400 cyclistes.

Soit une baisse globale de 13 400 déplacements en traversée de Seine, les modes alternatifs ayant absorbé près de la moitié de la baisse des déplacements en automobiles. L'évaporation de trafic n'est donc pas qu'une pure et simple disparition. Elle s'accompagne d'un report modal qui est justement l'objectif recherché par les politiques publiques. Les limitations de voirie dans les villes centre ne sont donc pas une punition de l'automobile, mais un moyen de redonner des marges de manœuvre à d'autres modes de transport. Une mesure d'autant plus logique que beaucoup de déplacements en automobile se font en ville sur des distances courtes, moins de 5, voire moins de 3 km (59% des déplacements voiture).

Le même retour d'expérience qu'à Rouen a été observé à Lyon.

- Lors de la fermeture du tunnel de la croix rousse, 3 réactions ont été observées : report de trafic, report modal et un peu d'évaporation. Mais la fermeture étant limitée dans le temps (11 mois), dès la réouverture, les flux initiaux sont revenus. Il y a eu quelques reports de trafic définitifs, notamment vers BPNL, mais le report modal a disparu.

- Lors de la requalification de l'A43 en entrée de ville (démolition de l'autopont Mermoz), a été observée une évaporation de trafic pérenne de l'ordre de 15%. Des flux qui ne se sont pas retrouvés ailleurs sur la voirie, ni sur les modes alternatifs.

Le résultat des travaux sur l'évaporation de trafic est que la congestion routière en zone urbaine ne peut plus être considérée seulement comme un problème. Sous certaines conditions, elle est aussi une solution pour envoyer aux automobilistes un signal clair sur ce qui les attend quand ils choisissent ce mode de transport (Crozet & Joly 2004). Mais si la régulation par la congestion est une solution pour inciter au report modal, ne pourrait-on pas envisager une meilleure régulation de cette congestion, une version moins punitive de la régulation des trafics ?

3) De la régulation par la congestion à la régulation de la congestion

En passant en revue les travaux scientifiques et les politiques publiques de gestion de la voirie, nous avons découvert que la congestion n'est pas seulement un mal à éradiquer. La congestion ne doit pas être montrée du doigt comme un mal absolu, le signe d'un dysfonctionnement urbain. C'est plutôt le contraire qui est vrai. Une ville dynamique connaît forcément des phénomènes de congestion qui peuvent même être voulus comme nous allons le rappeler (3.1), mais ils peuvent aussi être traités pour que certaines poches de congestion soient utilisées de façon à rendre globalement plus fluide le trafic automobile (3.2).

3.1) Inévitable congestion ?

Le tableau 7 nous donne des indications sur le nombre d'heures perdues en moyenne dans les principaux pays d'Europe de l'Ouest et leur évolution de 2014 à 2015. Il apparaît que la Belgique et les Pays-Bas mais aussi l'Allemagne, le Luxembourg et la Suisse sont les pays les plus sujets aux embouteillages. Mais n'est-ce pas le résultat recherché par les politiques publiques dans ces pays ? Les Pays-Bas sont par exemple connus pour la part modale importante du vélo. La Suisse l'est pour la qualité de son offre ferroviaire. Pour que ces modes alternatifs conservent une part de marché importante, n'est-il pas nécessaire de faire peser des contraintes plus fortes sur l'automobile, non pas sous la forme d'un péage monétaire, mais plutôt sous la forme d'un péage temporel ?

Dans le bas du tableau, les heures perdues dans les embouteillages sont moins importantes, mais cela tient d'abord au moindre niveau de vie et donc au moindre équipement en automobile. C'est aussi et surtout lié à la faible densité moyenne et au fait qu'il existe peu de grandes conurbations comme celle que l'on observe au sein de la « Banane bleue ». Un tel tableau pourrait être présenté comme un tableau d'honneur inversé, les cancre occupant les premières places. Il n'en est rien. Les lieux où on perd du temps dans les embouteillages sont les zones urbaines très denses et plutôt riches où la congestion quotidienne des axes routiers est un des outils de la panoplie des politiques

publiques quand elles cherchent à maîtriser la pression de l'automobile. Il est donc important de ne pas prendre pour argent comptant les discours alarmistes sur la congestion routière.

Tableau 7 : Des niveaux de congestion considérés comme inévitables ?

Rang 2015	Rang 2014	Pays	Nombre moyen d'heures perdues en 2014	Nombre moyen d'heures perdues en 2015	Différence vs 2014 (en heures)
1	1	Belgique	51	44	-6,3
2	2	Pays-Bas	41	39	-1,5
3	3	Allemagne	39	38	-0,7
4	4	Luxembourg	34	33	-0,9
5	6	Suisse	29	30	1,2
6	5	Angleterre	30	30	-0,1
7	7	France	29	28	-0,3
8	8	Autriche	25	25	0,4
9	9	Irlande	24	25	0,5
10	10	Italie	20	19	-0,6
11	11	Espagne	17	18	0,2
12	12	Portugal	6	6	-0,2
13	13	Hongrie	5	5	-1

Source : INRIX

Il faut notamment prendre du recul avec les publications des sociétés qui vendent des applications d'aide à la circulation. Leur diagnostic est biaisé dans la mesure où il vise avant tout à justifier l'utilisation de systèmes censés aider l'automobiliste à « battre le système » en lui fournissant des informations apparemment utiles pour lui mais néfastes pour la collectivité⁵. Or ce type de

⁵ Ainsi l'application WAZE, de plus en plus utilisée, diffuse le trafic sur l'ensemble des voies d'une agglomération, pour offrir des itinéraires moins congestionnés. Le trafic est alors réparti sur tout le réseau

raisonnement est naïf, voire trompeur car l'information n'est pas stratégique si elle est diffusée au plus grand nombre. Ainsi, un navigateur peut vous informer que l'autoroute que vous empruntez est bloquée par un accident quelques kilomètres plus loin. Vous sortez alors de l'autoroute mais vous n'êtes pas le seul. Vous vous retrouvez alors sur une voirie dont la capacité est plus faible que celle de l'autoroute et donc très vite engorgée car elle ne peut écouler le surcroît de trafic. Il en va de même en zone urbaine. Quand la congestion sévit en heure de pointe, tous les axes se trouvent dans un état de saturation puisque, selon le principe de Wardrop, les trafics utilisent tous les itinéraires possibles. L'intérêt des applications est d'informer, de façon plus ou moins juste, sur les temps de parcours mais il n'est pas de rendre chacun plus malin que le « troupeau » des autres automobilistes.

Dans cette perspective, que penser des prévisions effectuées par le CEBR (Centre for Economics and Business Research) à l'horizon 2030 ? Dans ce rapport réalisé pour INRIX, sont établies un certain nombre de prévisions à l'horizon 2030⁶.

- De 2013 à 2030, il faut s'attendre à une hausse de 6% des heures perdues dans les embouteillages, soit 6.8 heures supplémentaires par an et par ménage. Cela conduira une perte annuelle de 36 heures dans les embouteillages et 111 heures lorsque l'on considère le temps de planification supplémentaire.
- En termes de coûts de la congestion, en prenant en compte les coûts directs (temps, carburant) et les coûts indirects (transports, Gaz à effet de serre, temps de planification), nous aurions une hausse de 46% des coûts imposés par la congestion d'ici 2030, soit un passage de \$200,7 milliards en 2013 à \$293,1 milliards en 2030.
- En ce qui concerne l'environnement, il est attendu une augmentation des émissions de CO₂, qui passeraient de 15 434 kilotonnes en 2013 à 17 959 kilotonnes en 2030, soit une hausse de 16%.

Face à un tableau aussi inquiétant deux types de commentaires s'imposent, l'un est économique et l'autre méthodologique

- La congestion représenterait un coût énorme pour la collectivité, aujourd'hui et plus encore en 2030. Ce type d'argument n'est pas nouveau, il a souvent été utilisé par les spécialistes des coûts externes de la route qui montraient que les coûts de congestion représentaient dans une ville comme Paris plusieurs points de PIB. Mais un tel chiffrage suscite des interrogations. Si ce coût est si élevé, pourquoi si peu d'agglomérations mettent-elles en place un péage de congestion⁷ pourtant présenté par les économistes depuis des décennies comme la solution adéquate ? Nous avons donné la réponse dans la seconde partie en nous inspirant des travaux de Baumol et Oates : parce que le péage de congestion coûterait en moyenne aux automobilistes plus qu'ils ne gagneraient de temps. Cela signifie que face à ce phénomène universel de congestion routière dans les grandes agglomérations, il est

viaire, y compris sur des voies pour lesquelles un trafic de transit est pénalisant pour la vie locale et la sécurité (cf. une voie de desserte ayant accueilli 45 000 vh/jour)

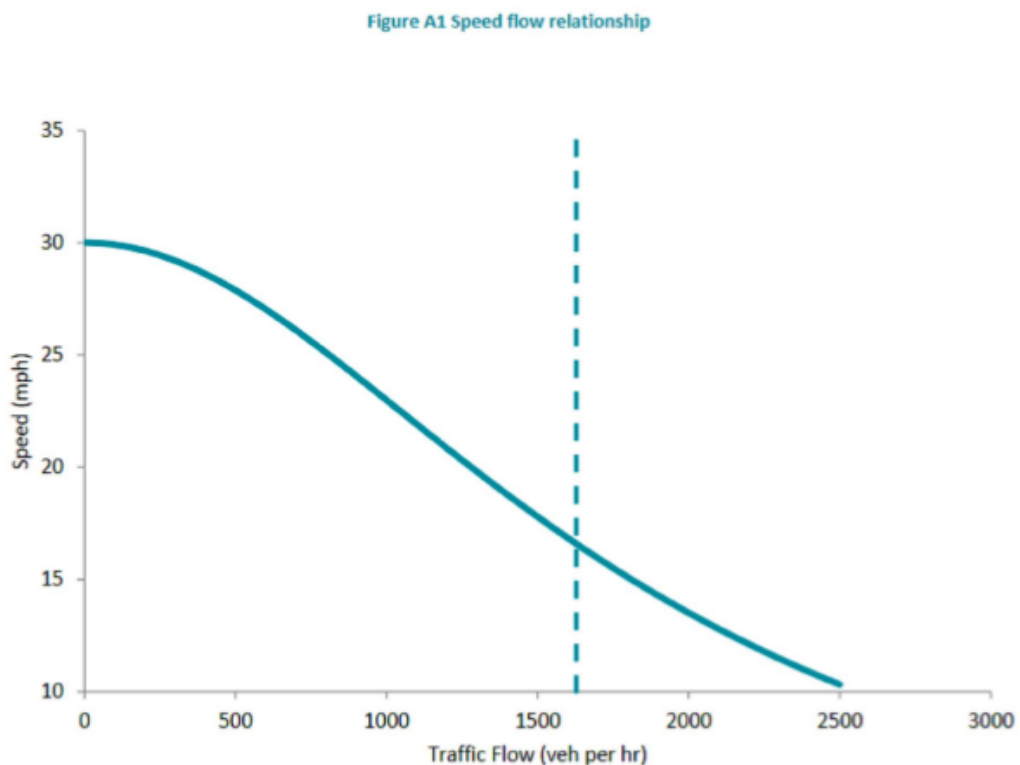
⁶ The future economic and environmental costs of gridlock in 2030, an assessment of the direct and indirect economic and environmental costs of idling in road traffic congestion to households in the UK, France, Germany and the USA, Report for INRIX, July 2014, 67 p.

⁷ Rappelons qu'à Londres, le péage de congestion a réduit le trafic mais pas beaucoup la congestion, ni hors de la zone de péage, ni même dans la zone de péage, car dans le même temps l'espace viaire a été réduit pour les VP.

trompeur de raisonner en valeur absolue en comptant les heures perdues dans les embouteillages. Il faut raisonner en termes relatifs. Quelles seraient les autres options : mettre en place un péage coûteux et très dissuasif ? Construire de nouvelles voiries ? Réduire le nombre de véhicules en circulation ? Rendre obligatoire le covoiturage ? Etc. En d'autres termes, les automobilistes arbitrent de fait en faveur de la congestion car les autres options sont considérées comme plus coûteuses. La congestion représente bien un coût économique, mais ce coût doit être rapporté aux avantages qui lui sont associés. Personne n'a pensé à calculer le coût des pertes de temps subies par les visiteurs d'un parc de loisirs comme Eurodisney alors même qu'il faut souvent piétiner plus de 30 minutes avant chaque nouvelle attraction. La rentabilité économique du parc n'existe (ce qui n'est pas évident) que s'il y a des jours de pointe et de longues queues devant les manèges.

- La méthode de prévision du rapport CEBR mérite également un examen. Afin d'estimer le temps perdu dans les embouteillages, les auteurs du rapport utilisent une forme simplifiée de la courbe débit-vitesse résumée par la figure 10. Fort logiquement, plus le trafic augmente (en abscisses) et plus la vitesse diminue (en ordonnées). La droite en pointillés est censée indiquer la capacité maximale de la route, mais on peut s'interroger sur le fait que la pente de la courbe ne change pas de part et d'autre de cette ligne en pointillés.

Figure 10 : la courbe débit-vitesse INRIX (rapport CEBR)



Il ne s'agit donc pas véritablement d'une courbe débit-vitesse, avec son régime laminaire et son régime forcé. Il s'agit tout au plus d'une relation simple faisant de la vitesse une fonction décroissante du niveau de trafic. Et comme dans le modèle utilisé par le CEBR, le niveau de trafic augmente mécaniquement avec la croissance économique, les choses ne peuvent qu'empirer avec la croissance économique. Plus nous serons riches et plus il y aura d'embouteillages. Il est donc facile de jouer les Cassandra mais cela n'avance rien. D'une part car si le phénomène est aussi surdéterminé, ce ne sont pas les applications d'information sur le trafic qui vont y changer quelque-

chose. D'autre part car face à ce phénomène récurrent de la congestion, des réponses existent que nous avons déjà mentionnées : développement des transports en commun, évaporation de trafic, développement des modes actifs. D'autres sont envisageables comme nous allons le montrer.

3.2) Vers une régulation de la congestion ?

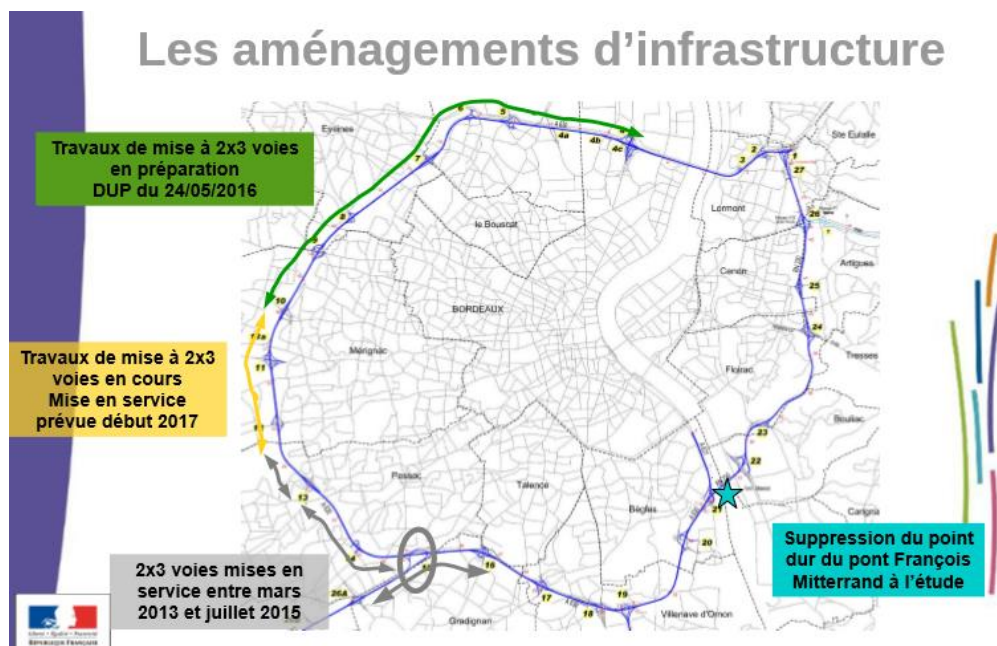
Face à la congestion, inutile de noircir le tableau, il l'est déjà assez comme le rappellent quelques données simples pour la métropole de Lyon. La Métropole gère 2800 km de voirie et le taux de possession d'automobiles est de 450 voitures pour 1000 habitants, soit un total de 600 000 VP. Ainsi, lorsque 20% (seulement) des véhicules circulent cela donne 47 véhicules par km, soit une densité moyenne de 23,5 véhicules par kilomètre et par sens, soit environ une voiture tous les 40 mètres. Et donc une tous les vingt mètres quand 40% des véhicules circulent ce qui nous conduit proche du point de saturation. En outre, comme les trafics sont répartis de façon très inégale entre les axes denses et les autres, la congestion est un phénomène inévitable sur les grands axes en heure de pointe.

Partant de l'hypothèse que la congestion est inévitable, voire pour partie souhaitable afin de favoriser le report modal, peut-on imaginer une régulation de la congestion qui viserait à ne pas se satisfaire de la régulation par la congestion ? Des tentatives sont faites en ce sens sous le vocable de fluidité lente. L'idée serait qu'une faible vitesse de déplacement serait associée à une faible congestion ressentie par les automobilistes. Pour atteindre cet objectif, deux conditions doivent être remplies.

- La première est que l'utilisateur de VP intègre bien le fait qu'il va se déplacer à une vitesse faible, entre 15 et 25km/h comme c'est la règle en zone urbaine dense.
- La seconde est que la congestion soit cantonnée dans certains secteurs pour garantir une certaine fluidité dans d'autres.

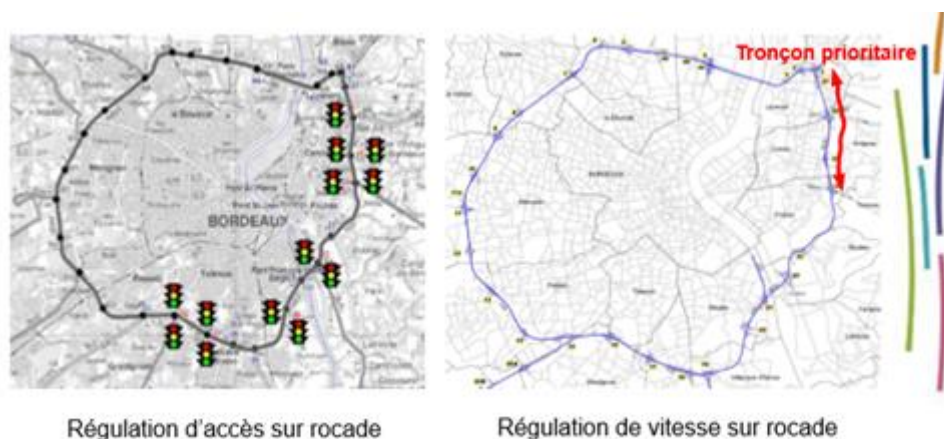
Cette solution est par exemple celle qui est utilisée dans la vallée de la Tarentaise lors des grands chassés croisés de fin de semaine en période de sports d'hiver. Pour garantir un trafic lent mais fluide dans les vallées qui partent de Moutiers, il existe avant Moutiers des feux tricolores régulant le trafic venant d'Albertville. Le flux automobile est donc interrompu et une zone d'attente est instaurée à partir de laquelle des vagues de véhicules sont lâchées à intervalles réguliers. C'est exactement ce qu'envisage de faire la métropole de Bordeaux pour assurer la fluidité sur la rocade. Comme le montre la figure 11, des travaux d'aménagement sont en cours sur cette rocade afin d'en accroître la capacité. Mais une fois ces travaux effectués, afin d'éviter que le flux passe en régime forcé et provoque des ralentissements excessifs, il est prévu de placer des feux tricolores régulant l'accès en période de pointe. C'est ce que montre la figure 12.

Figure 11 : Les travaux en cours sur la rocade bordelaise



Plus précisément, aux régulations de vitesse destinées à maximiser le débit dans la zone la plus dense, s'ajouteront en 2017-2018 des régulations d'accès comme le montre la carte de gauche de la figure 12.

Figure 12 : Régulation de la vitesse et des accès sur la rocade Bordelaise (ALIENOR 2)



Source : CEREMA

De tels mécanismes existent déjà dans la métropole lyonnaise grâce au système de régulation du trafic. D'une certaine manière, les projets de déclassement du tronçon A6-A7 dans l'agglomération s'inscrivent dans la même logique : assurer une fluidité lente sur ce tronçon par le biais de ralentissement aux entrées nord et sud de Lyon. La question qui se pose alors est de mesurer quels seront les parts relatives de l'évaporation de trafic et des reports sur d'autres parties du réseau, au risque de voir réapparaître d'importants points de congestion. Les modèles comme MOSART, peuvent en partie répondre à ces questions comme nous allons le voir dans la seconde partie.

Partie II : Scénarios de simulation de variation de capacité de voirie et/ou de régulation d'accès

L'objectif de cette seconde partie est de mettre en perspective les éléments de réflexions présentés précédemment ainsi que dans les annexes. Plus précisément, il s'agit de simuler sur l'agglomération lyonnaise des scénarios de variation de capacité de voirie et/ou de régulation d'accès. Nous « testerons » ainsi la réponse des automobilistes à une réduction de la place accordée à la voiture au sein de l'agglomération. L'outil MOSART⁸ sera mobilisé dans cette partie en considérant le réseau routier et autoroutier dans sa version 2012. Le trafic est estimé en heure de pointe, un jour de semaine. Le modèle considère une distribution fixe des déplacements entre –et au sein- les différentes zones de l'agglomération. Seul le choix modal peut être impacté par une variation de capacité ou de régulation d'accès. Le trafic induit n'est, par ailleurs, pas pris en compte dans le modèle.

1. Mesure de la congestion en situation actuelle

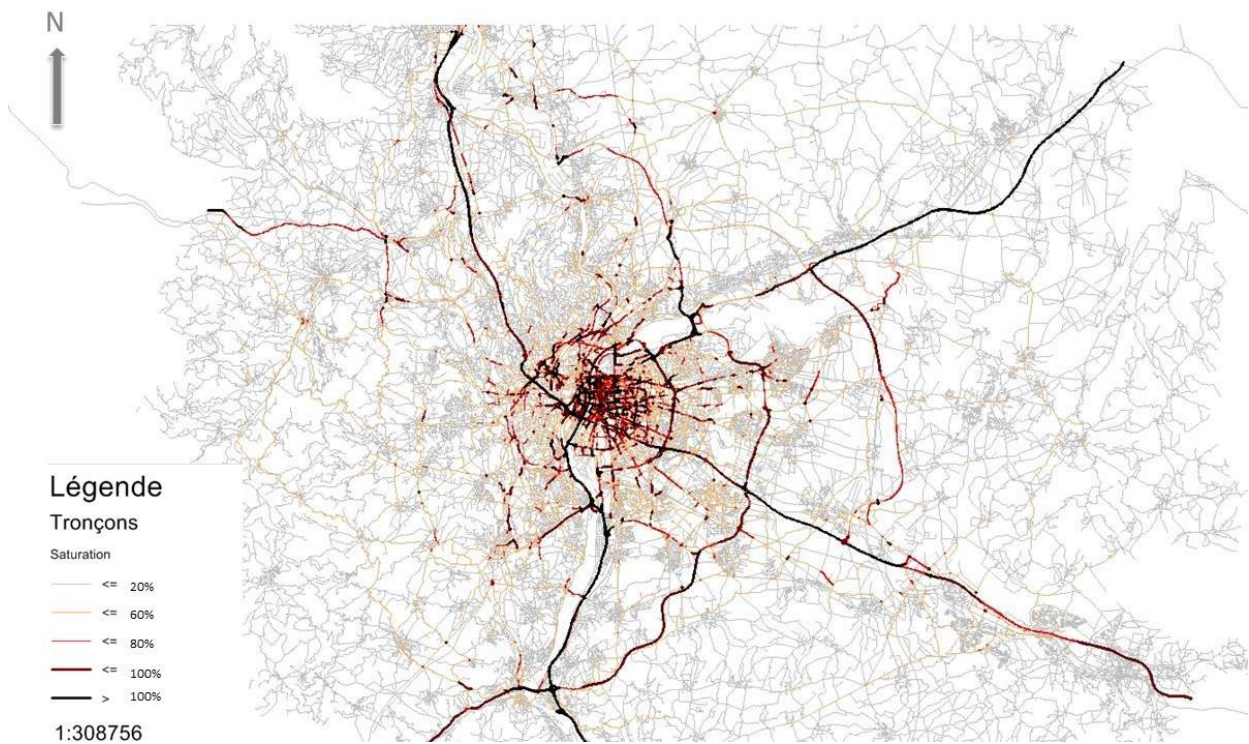
Différents type d'indicateurs ou de mesure de la congestion sont proposés dans la littérature (Robitaille et Nguyen, 2003 ; NCHRP, 1997). La caractérisation de la congestion locale peut s'entendre à partir de la concentration, de la vitesse ou encore de l'observation (Buisson, Lesort, 2010). Nous considérons dans ce travail un indicateur répondant respectivement à une caractérisation par la concentration : le taux d'occupation (ou de saturation) des voies.

Le taux d'occupation des voies s'exprime comme suit :

$$Tx_{\text{occupation}} = \frac{\text{Nb de véhicules}}{\text{Capacité de la voie}}$$

Sur les cartes 1 et 2 ci-après, on observe que ce sont principalement les voies d'accès au centre qui sont congestionnées et en particulier l'axe Nord-Sud A6/A7. A l'ouest l'A 42 et l'échangeur avec l'A46 (au nord) et l'accès au sud par l'A43 présentent des taux de saturation proches ou supérieurs à 100%. Au centre, les points noirs se situent aux traversées des ponts, le trafic se dispersant ensuite sur les différentes voies urbaines. Considérant l'ensemble du réseau de l'aire urbaine, environ 5% des tronçons présente un trafic « chargé » avec un taux de saturation supérieur à 80%. Si le taux d'utilisation de l'infrastructure permet d'estimer le niveau de trafic de chaque section, elle ne considère pas l'impact du trafic sur l'accroissement du temps de déplacement.

⁸ Pour plus de détails sur le modèle MOSART, voir (Mercier, 2013 ; Bonnafous et *al.*, 2009).



Carte 1 : Taux de saturation des voies en situation « actuelle », de référence



**Carte 2 : Taux de saturation des voies en situation « actuelle », de référence
(zoom sur l'agglomération lyonnaise)**

2. Tests ciblés : régulation d'accès ou de trafic sur différents sites de l'agglomération

L'objectif des différents tests « ciblés » est de réguler l'accès ou la vitesse en différents points de l'agglomération pour mettre en évidence l'impact d'une réduction de la capacité routière sur le niveau de trafic. Notons que ces régulations ne sont pas simultanées. Les tests sont effectués successivement sur chacune des sections comme présenté ci-dessous.

2-1 Régulation d'accès à la Rocade Est

Nous considérons la Rocade Est depuis le Boulevard Urbain Sud jusqu'à l'A42, au Nord. Dans la simulation, nous condamnons toutes les voies d'accès à la Rocade, à l'exception de l'accès depuis l'A43. Seules trois entrées permettent l'accès à la Rocade comme représenté **Carte 3**.



Carte 3 : Points d'entrée sur la Rocade Est

Impact sur le choix modal

La limitation des points d'entrée pénalise l'usage de la voiture, en particulier pour les déplacements au sein et à destination de la zone Lyon-Villeurbanne. On observe ainsi une baisse de plus de 10 points du trafic automobiles pour ces types de déplacements. Ce report modal est logique dans la mesure où la Rocade Est permet la desserte de la zone centrale de l'agglomération, de par ses connexions avec le Boulevard Urbain Sud (BUS), l'A43 ou l'A42. Son impact sur la baisse de trafic automobile interne à Lyon-Villeurbanne peut s'expliquer par des temps de trajet plus longs au sein

de la zone centrale en raison du report d'itinéraires d'automobilistes ne pouvant plus accéder aussi facilement à la Rocade Est et se reportant sur le périphérique Laurent Bonnevey, par exemple.

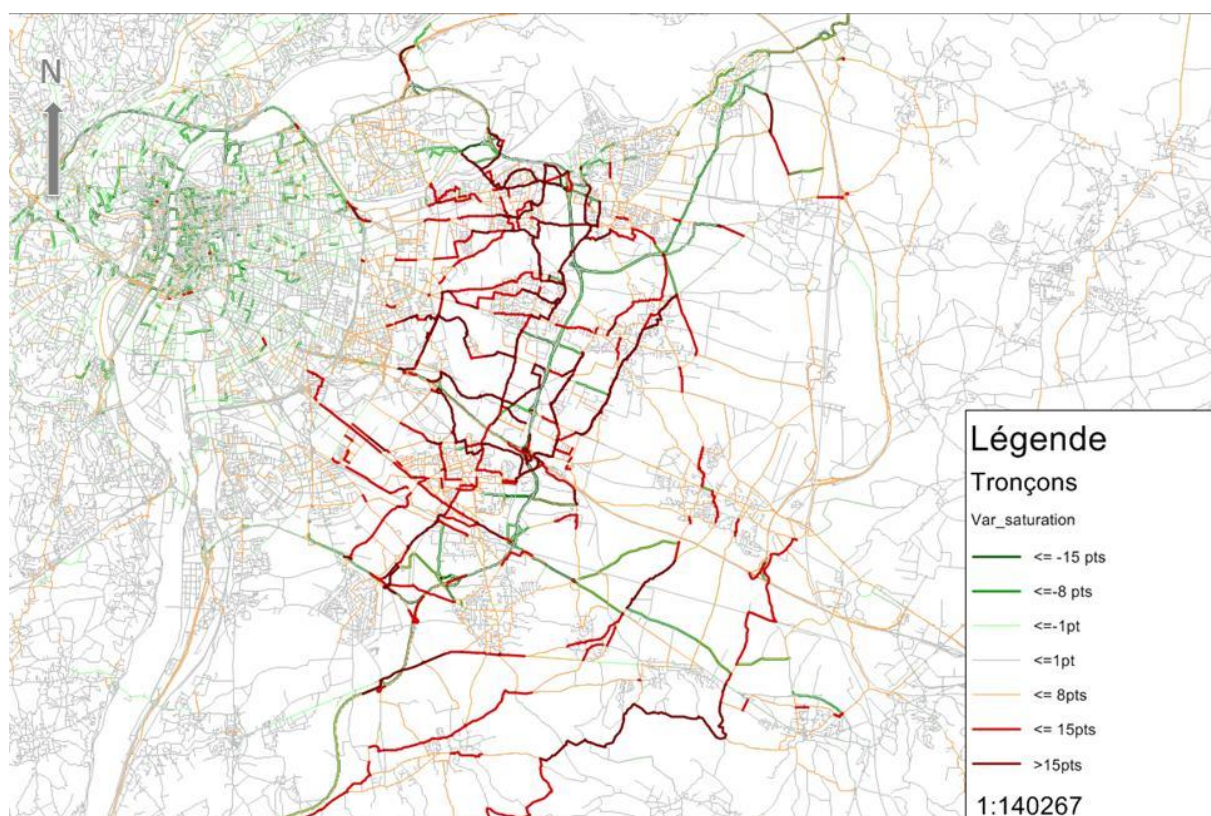
	Trafic VP	Trafic TC	Trafic MAP
Trafic Interne LV	-13%	6%	4%
Trafic à destination LV	-10%	8%	5%
Trafic Interne GL	-5%	3%	3%
Trafic Interne AU	-3%	2%	3%

Tableau 8 : Variation de trafic avec régulation d'accès à la Rocade Est

Impact sur la congestion des axes routiers

La variation du niveau de congestion entre la situation de référence et le scénario de Régulation d'accès à la Rocade Est s'effectue comme suit, et s'exprime en points :

$$Var_{congestion} = Congestion_{ScRegulationRocade} - Congestion_{situationRef}$$



Carte 4 : Variation de la congestion à l'échelle de l'agglomération suite à la régulation d'accès à la Rocade Est

La régulation d'accès à la Rocade Est se traduit sans surprise par une baisse du trafic et de la saturation sur cet axe. Le trafic se reporte principalement sur les axes « voisins », y compris les axes secondaires qui voient leur saturation augmenter de plus de 15 points (donc, sans tenir compte du phénomène d'« évaporation »). La D318 devient ainsi un axe privilégié pour rejoindre le centre de l'agglomération par l'entrée Sud-Est. On observe également un report du trafic vers l'A432 qui voit son taux de saturation s'accroître de 8 points.

La **Carte 4** met ainsi en évidence la fonction de « drainage » que joue la Rocade Est qui capte le trafic et empêche la dispersion des automobilistes sur le réseau secondaire ayant pour vocation une desserte locale.

2-2 Suppression du trafic de transit sur la Rocade Est

Dans le prolongement de la simulation précédente, nous modélisons l'impact de la suppression du trafic de transit sur la Rocade Est (sans régulation d'accès comme ci-dessus). L'absence de trafic de transit s'apparente à un accroissement de capacité dégagé pour le trafic local. Notre modèle d'affectation ne permettant pas de distinguer le trafic de transit du trafic local, nous simulons un accroissement de capacité de 30% sur la Rocade Est, du BUS à l'A43. En effet, au regard des données de comptage (Trafic DIRCE, 2016), sur les 80 000 véhicules empruntant en moyenne la Rocade Est, 25 000 relèvent du trafic de transit.

Impact sur le choix modal

La réaction « immédiate » des individus consiste à se reporter vers la voiture particulière pour effectuer leurs déplacements. En effet, le trafic routier augmente de plus de 10% pour les déplacements dans et à destination de Lyon-Villeurbanne. L'effet est plus limité à l'échelle du Grand Lyon ou de l'Aire Urbaine (moins de 5%).

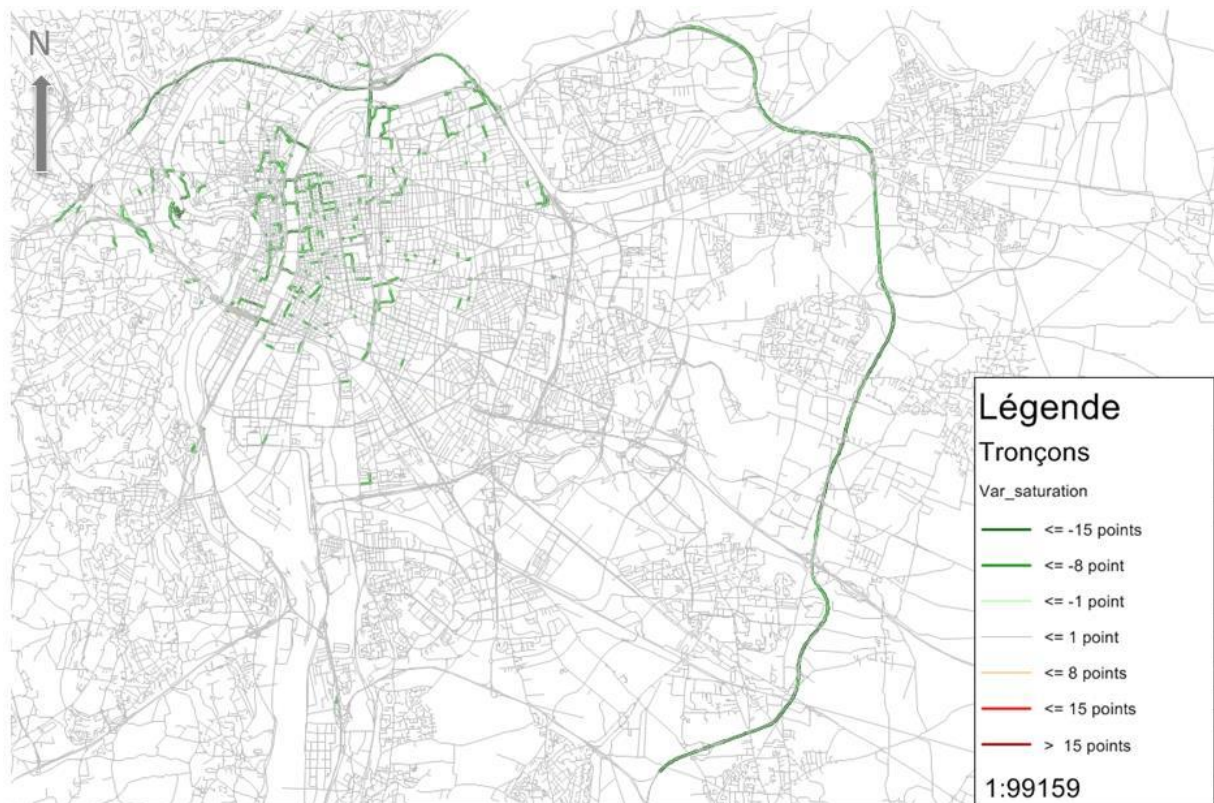
La réaction des individus est confirmée, et amplifiée, à plus long terme, toutes choses égales par ailleurs (donc « hors induction »). La hausse du trafic automobile se confirme principalement pour les déplacements dans et à destination de Lyon-Villeurbanne.

Tableau 9 : Variation de trafic automobile avec suppression du trafic de transit sur la Rocade Est

	Réaction immédiate	Réaction à plus long terme
Trafic Interne LV	10%	26%
Trafic à destination LV	11%	23%
Trafic Interne GL	5%	8%
Trafic Interne AU	3%	5%

Impact sur la congestion des axes routiers

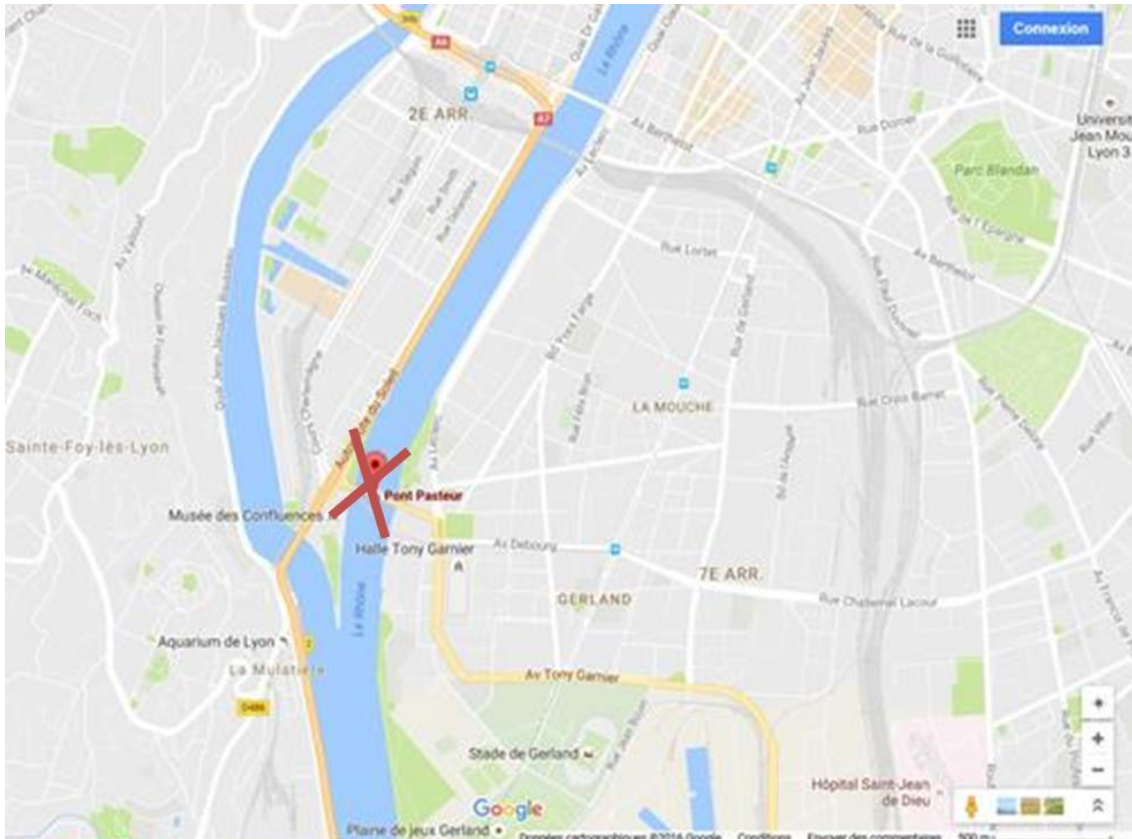
La hausse de capacité sur la Rocade Est permise par la suppression du trafic de transit se traduit d'une part par la baisse de la saturation sur cet axe mais également, d'autre part, par la baisse de la saturation sur le périphérique Nord (**Carte 5**). Il est ainsi possible que les automobilistes délaissent cette dernière infrastructure pour réorienter leur itinéraire vers la Rocade Est par exemple. Il est toutefois pensable que la hausse du trafic routier, en se poursuivant avec un phénomène d'induction, conduit à terme à la saturation de ces axes.



Carte 5 : Variation de la congestion à l'échelle de l'agglomération suite à la suppression du trafic de transit sur la Rocade Est

2-3 Fermeture à la circulation de l'autopont Pasteur

Le pont Pasteur, à l'entrée entrée sud de Lyon – quartier Confluence (**Carte 6**) permet le franchissement du Rhône et la liaison avec le quartier de Gerland et, plus généralement le Sud-Est de l'agglomération par le biais du périphérique Laurent Bonnevey. Avec un taux de saturation modélisée supérieur à 100% en heure de pointe, il constitue l'un des « points noirs » de l'agglomération. Dans la simulation, nous fermons l'accès à ce pont pour les automobilistes qui, pour franchir le Rhône, devront emprunter le Pont Galliéni plus au Nord ou l'A7, plus au Sud.



Carte 6 : Localisation du Pont Pasteur

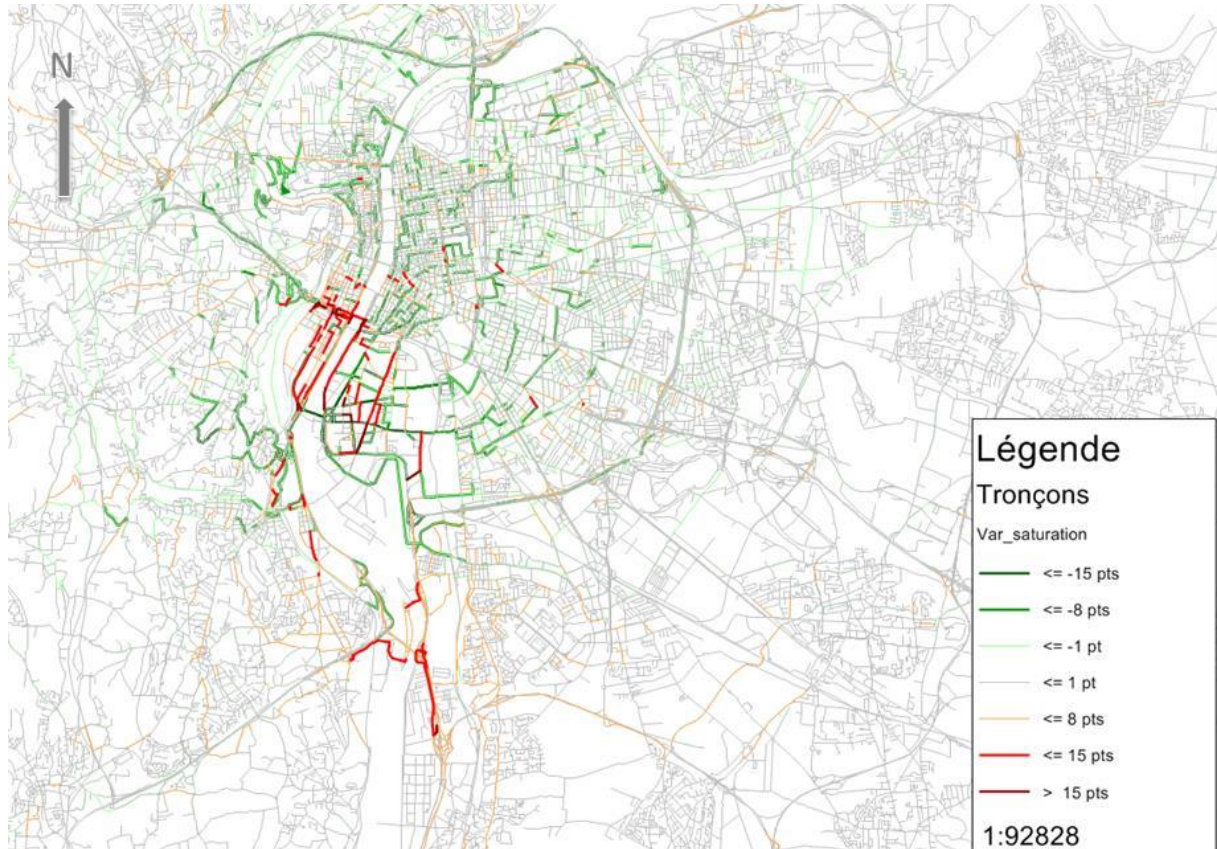
Impact sur le choix modal

La fermeture du Pont Pasteur et la diminution des capacités routières associée génère une baisse du trafic automobile sur l'ensemble de l'agglomération (Tableau 10). Cette baisse se situe dans les mêmes proportions que celles observées avec la restriction d'accès à la Rocade Est. En effet, c'est le trafic automobile interne ou à destination de Lyon-Villeurbanne qui est le plus impacté par la fermeture du Pont Pasteur. Le report de trafic se fait vers les transports en commun et, dans une moindre mesure, la marche à pied.

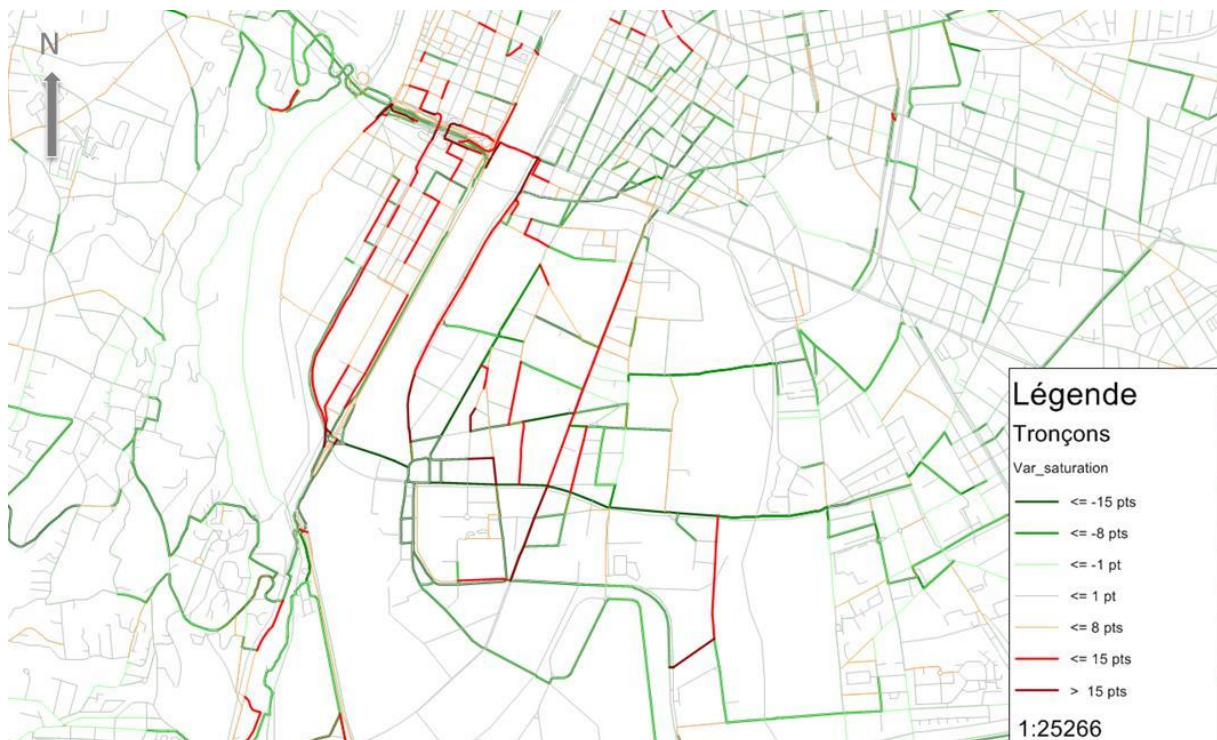
Tableau 10 : Variation de trafic suite à la fermeture du Pont Pasteur

	Trafic VP	Trafic TC	Trafic MAP
Trafic Interne LV	-13%	6%	4%
Trafic à destination LV	-10%	7%	5%
Trafic Interne GL	-5%	3%	3%
Trafic Interne AU	-3%	2%	3%

Impact sur la congestion des axes routiers



Carte 7 : Variation de la congestion à l'échelle de l'agglomération suite à la fermeture du Pont Pasteur



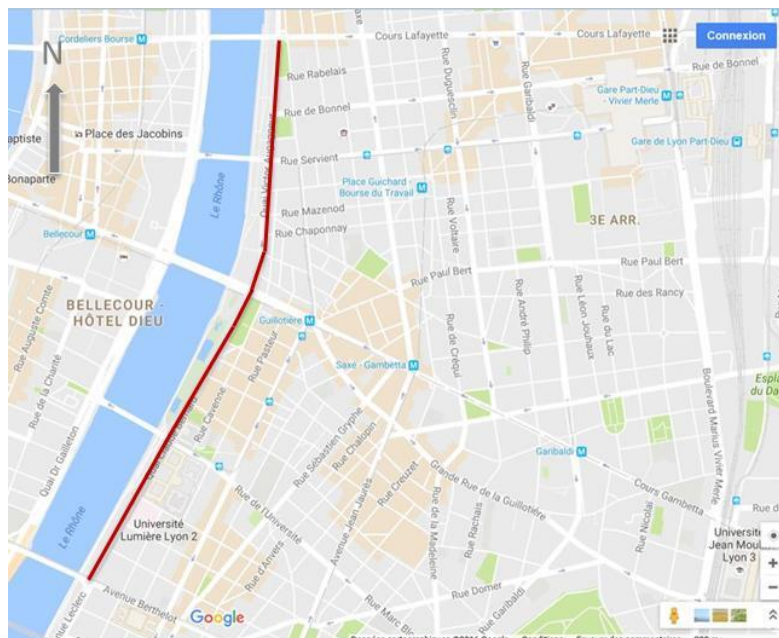
Carte 8 : Variation de la congestion à l'échelle de l'agglomération suite à la fermeture du Pont Pasteur : zoom sur le Sud de l'agglomération

A l'échelle de l'agglomération (**Carte 7**), cette réduction de trafic se traduit par une baisse de la saturation de nombreux tronçons, notamment au centre-ville et sur le secteur de La Mulatière/Sainte Foy-lès-Lyon. On observe néanmoins une saturation accrue de certains tronçons sur lesquels se reportent les automobilistes ne pouvant plus emprunter le Pont Pasteur (**Carte 8**). Il s'agit de l'Avenue Albert Ramboz (Feyzin), parallèle à l'A7, ou de la liaison A450/A7, au Sud de l'agglomération. Dans une moindre mesure, le BUS et la D307 « gagnent » également du trafic avec un accroissement de leur taux de saturation entre 1 et 8 points.

Au niveau du quartier de Confluence, le trafic se reporte sur le cours Charlemagne, le Quai Perrache pour rejoindre le Pont Galliéni qui voit sa saturation s'accroître de 15 points environ. Plus à l'Est, ce sont les avenues Leclerc et Jean Jaurès qui récupèrent une partie du trafic détourné avec un « gain » de 15 points environ de saturation.

2-4 Réduction de la capacité conjointement à une amélioration des temps de parcours sur les quais Augagneur et Claude Bernard

Cette simulation vise à analyser l'impact d'une réduction de capacité lorsqu'elle est couplée à une amélioration du temps de parcours. Sur les quais Augagneur et Claude Bernard, un gain de temps de parcours estimé à 30% peut être réalisé par une régulation mieux adaptée des feux tricolores (hypothèse issue des études sur la régulation prédictive du trafic / simulation Vissim - EGIS pour le Grand Lyon 2014). L'idée consiste alors à supprimer dans les mêmes proportions (soit 1/3) de la capacité routière sur cet axe, représenté en rouge (**Carte 9**).

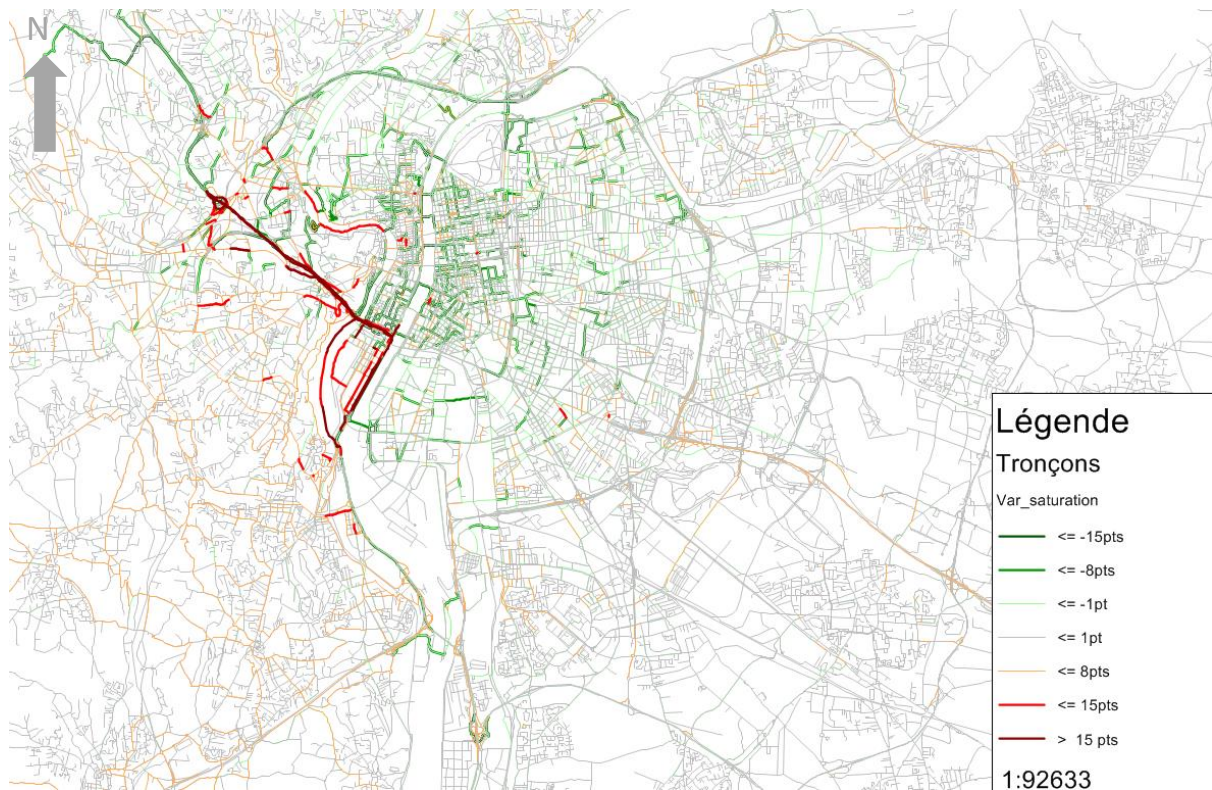


Carte 9 : Suppression de la capacité routière sur les quais Augagneur et Claude Bernard (en rouge)

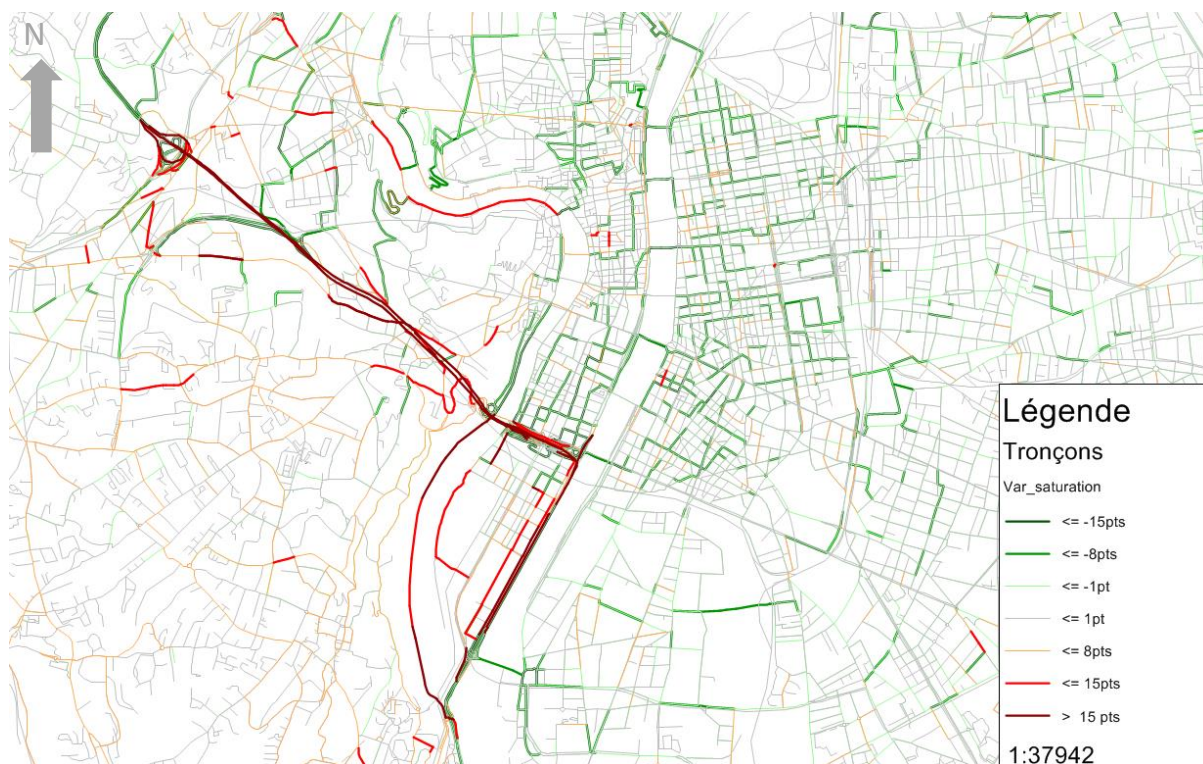
Impact sur la congestion des axes routiers

La baisse des capacités sur l'axe A6/A7 se traduit par une hausse de la congestion sur et à l'ouest de l'axe et, à quelques exceptions, par une baisse de la congestion dans le reste de l'agglomération (**Carte 11**). La hausse de la congestion sur l'axe nord/sud et à l'ouest s'explique d'une part, par le fait qu'une majorité d'automobilistes conserve leur itinéraire par Fourvière (70% environ selon les résultats de la modélisation). Les automobilistes qui cherchent à contourner cet itinéraire vont se reporter sur le réseau secondaire dans le 5^{ème} arrondissement et en particulier la montée de Choulans, l'avenue Debrousse et la rue du Commandant Charcot.

La réduction des capacités sur l'axe A6/A7 semble toutefois avoir un effet « bénéfique » sur le reste des tronçons de l'agglomération qui voient leur niveau de congestion stagner voire diminuer. On observe toutefois quelques exceptions (**Carte 12**). Parmi elles, les quais de Saône (Quais Pierre Scize) et le tunnel de la Croix-Rousse se chargent car ils constituent des alternatives à Fourvière pour accéder au centre-ville par le Nord de l'agglomération.



Carte 11 : Variation de la congestion à l'échelle de l'agglomération suite à la réduction de capacité sur l'axe A6/A7

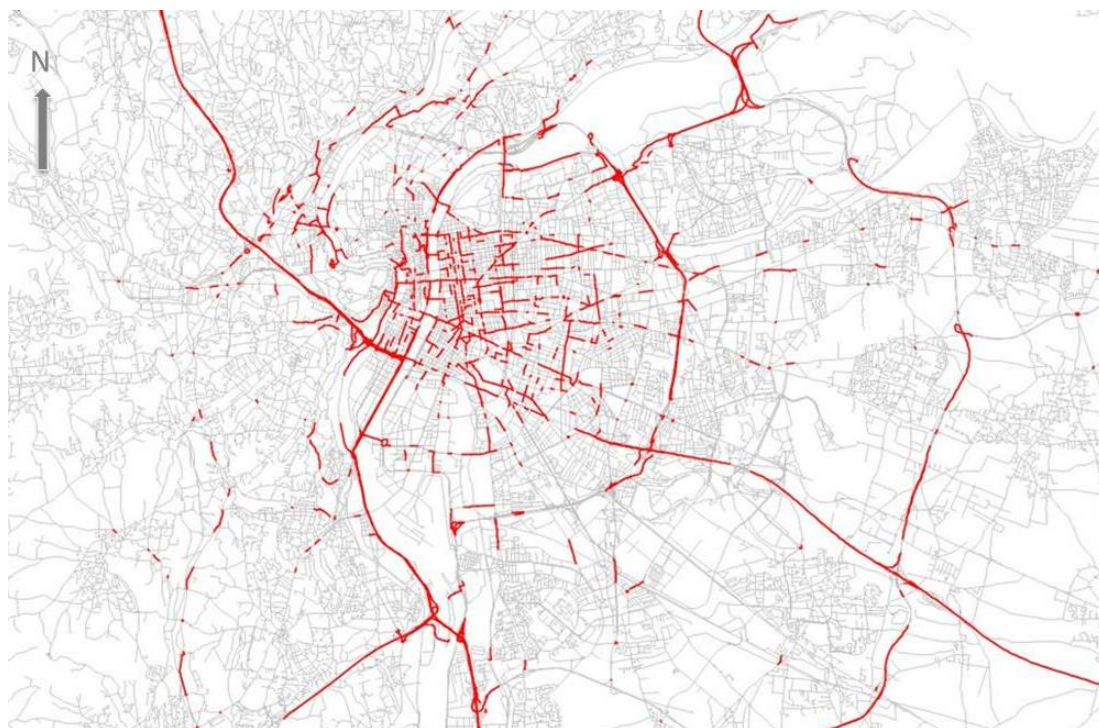


Carte 12 : Variation de la congestion à l'échelle de l'agglomération suite à la réduction de capacité sur l'axe A6/A7 (zoom sur l'axe A6/A7)

3. Test à l'échelle de l'agglomération : augmentation des capacités des voiries

L'objectif de cette simulation consiste à tester « en grandeur réelle » la conjecture de Mogridge stipulant que l'accroissement des capacités routières ne permet pas de résoudre durablement la congestion en raison du trafic induit qu'elles génèrent. L'idée est ainsi de modéliser à partir du cas lyonnais la réaction des automobilistes à un accroissement des capacités routières.

L'outil MOSART est utilisé pour augmenter les capacités de voirie à hauteur de la demande pour analyser les effets sur la congestion. Nous considérons ainsi un triplement des capacités des infrastructures routières dont le taux de saturation atteint ou dépasse 80% en situation de référence. Les tronçons concernés par une hausse des capacités sont représentés en rouge **Carte 13**.



Carte 13 : Tronçons routiers concernés par un triplement des capacités

Une hausse de capacité qui impacte l'usage de la voiture particulière

L'accroissement des capacités se traduit par une hausse du trafic automobile. C'est au sein de la zone Lyon-Villeurbanne que l'on observe l'impact le plus fort **avec un doublement du nombre de déplacements automobile**. Cela s'explique principalement par le fait qu'une grande part de l'accroissement de capacité ait été affectée à des axes localisés dans la zone centrale (le périphérique Laurent Bonnevey étant en partie sur le périmètre de la ville de Lyon).

La hausse du trafic automobile se fait principalement **au détriment des transports en commun**, en particulier pour les déplacements à destination de Lyon-Villeurbanne et, dans une moindre mesure, à la marche à pied. Le paradoxe de Mogridge se trouve ainsi vérifié dans la mesure où l'accroissement de la capacité sur voirie se traduit par un report modal générant une hausse du trafic automobile.

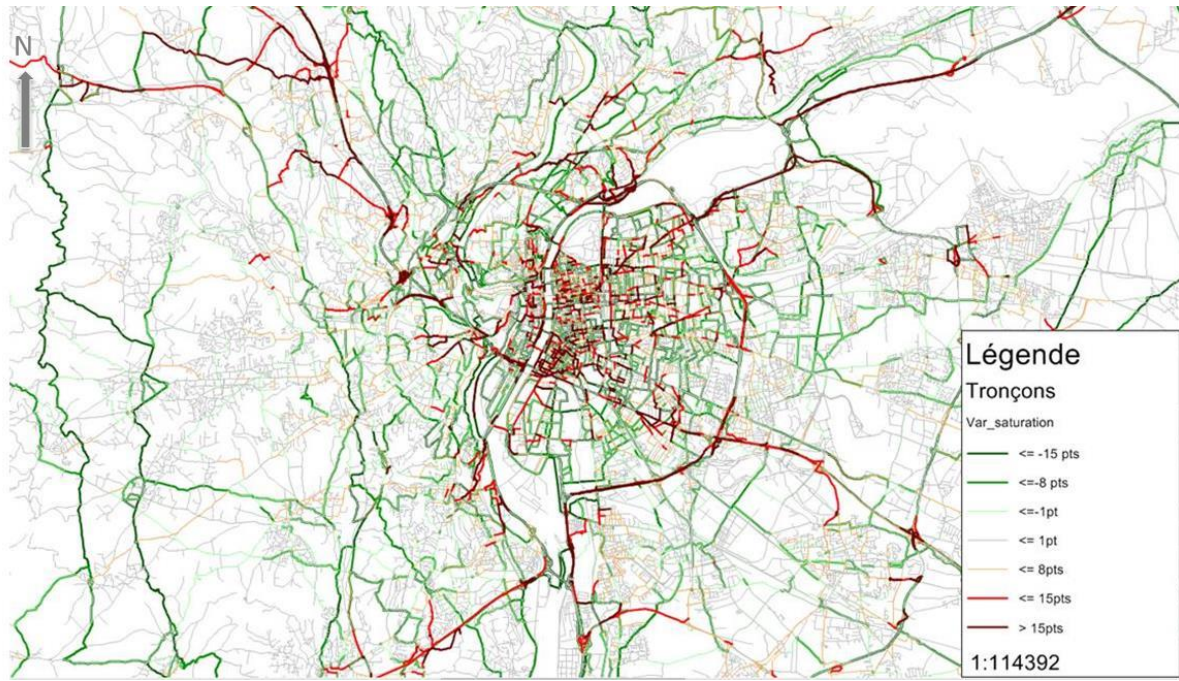
Tableau 12 : Variation de trafic avec accroissement des capacités routières

	Trafic VP	Trafic TC	Trafic MAP
Trafic Interne LV	104%	-18%	-13%
Trafic à destination LV	74%	-27%	-15%
Trafic Interne GL	26%	-13%	-10%
Trafic Interne AU	14%	-10%	-9%

Un report de la congestion

Le triplement des capacités des tronçons initialement chargés ou saturés devait permettre de répondre à la demande automobile « initiale » et réduire le niveau de saturation des voies. La **Carte 14** montre effectivement que l'accroissement a permis de diminuer le taux de saturation, en particulier pour les tronçons initialement « (sur-)chargés ». Cependant, la hausse du trafic sature les tronçons qui n'ont pas vu leur capacité augmentée (car non (sur-)chargés initialement). C'est ainsi le

cas pour la partie sud du périphérique Laurent Bonnevey ou l'A450. **D'autres tronçons voient également leur niveau de saturation augmenter alors même qu'ils avaient bénéficié un accroissement de voirie**, comme le nœud des Iles. Là encore, les résultats vérifient la conjecture de Mogridge : **l'accroissement des capacités ne peut résoudre la congestion.**

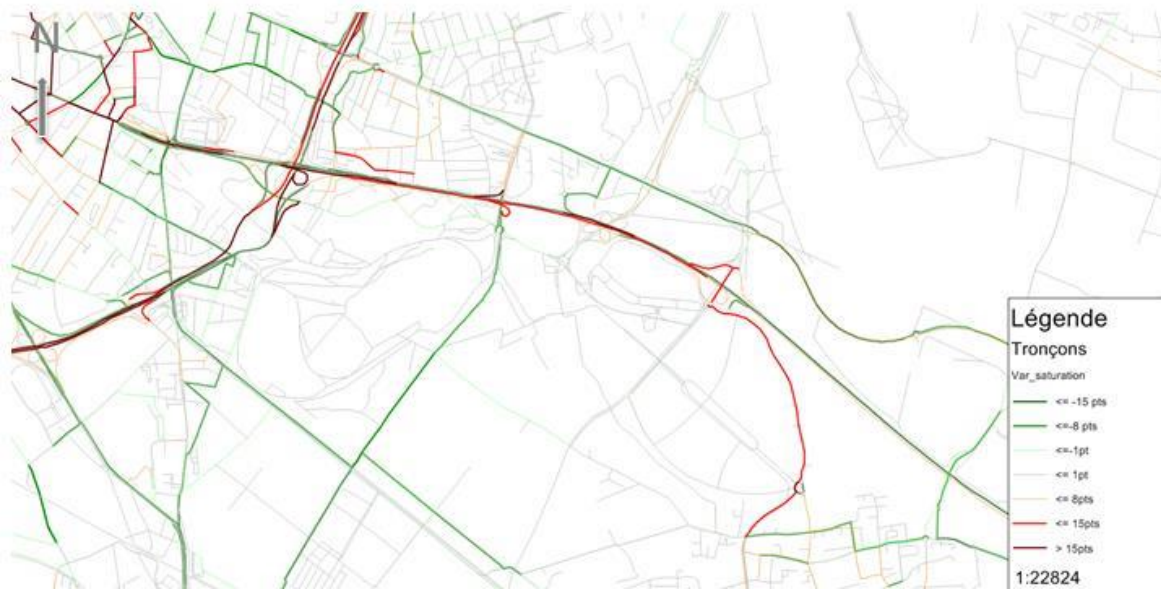


Carte 14 : Variation de la congestion suite à l'accroissement des capacités routières

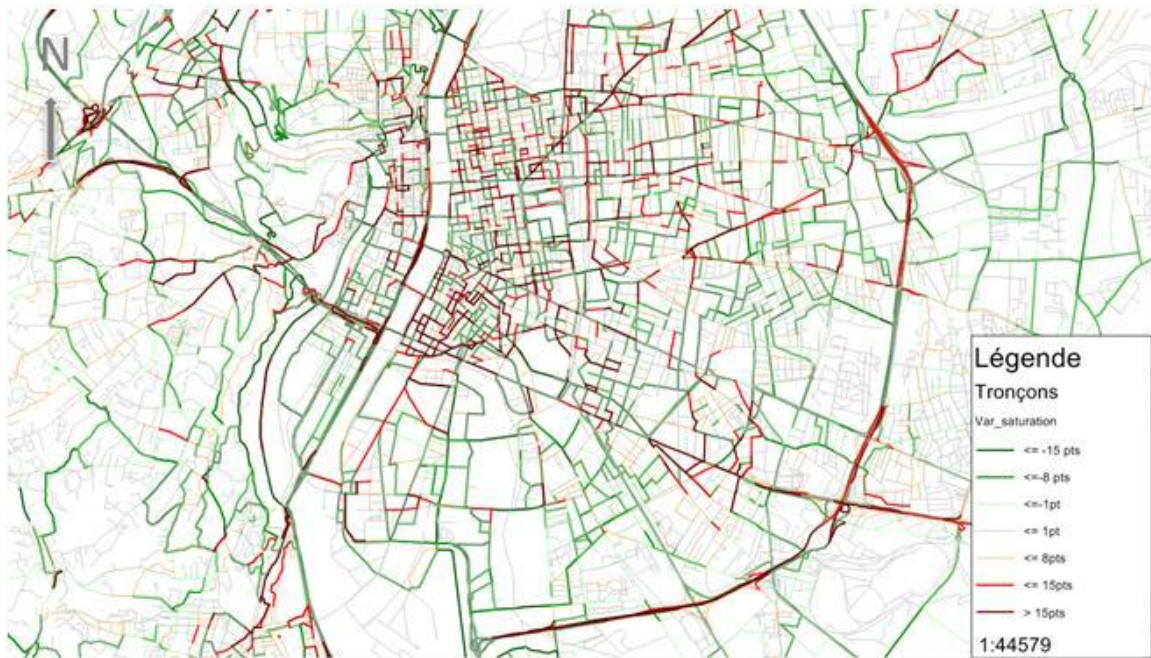
Zoomons maintenant sur certains axes de l'agglomération: l'A450, l'A43, l'axe A6-A7 et l'axe Berthelot-Mermoz (**Carte 15 à Carte 18**). Comme précédemment, ces axes sont moins saturés qu'en situation de référence lorsqu'ils ont vu leur capacité augmenter (exemple : axe A6/A7 à l'exception des trémies sous Perrache et certains tronçons de l'axe Berthelot-Mermoz) et à l'inverse, se chargent lorsque leur capacité n'a pas été modifiée (exemple de l'A450). L'accroissement partiel des capacités créé des goulets d'étranglement en certains points de l'agglomération. Ceux-ci sont liés à une hausse de la demande automobile qui ne peut être absorbée sur l'ensemble des tronçons routiers de l'agglomération. **Il est prévisible qu'un triplement de l'ensemble des capacités routières de l'agglomération n'aurait pas permis d'endiguer le phénomène de congestion en raison d'une demande automobile encore plus forte.**



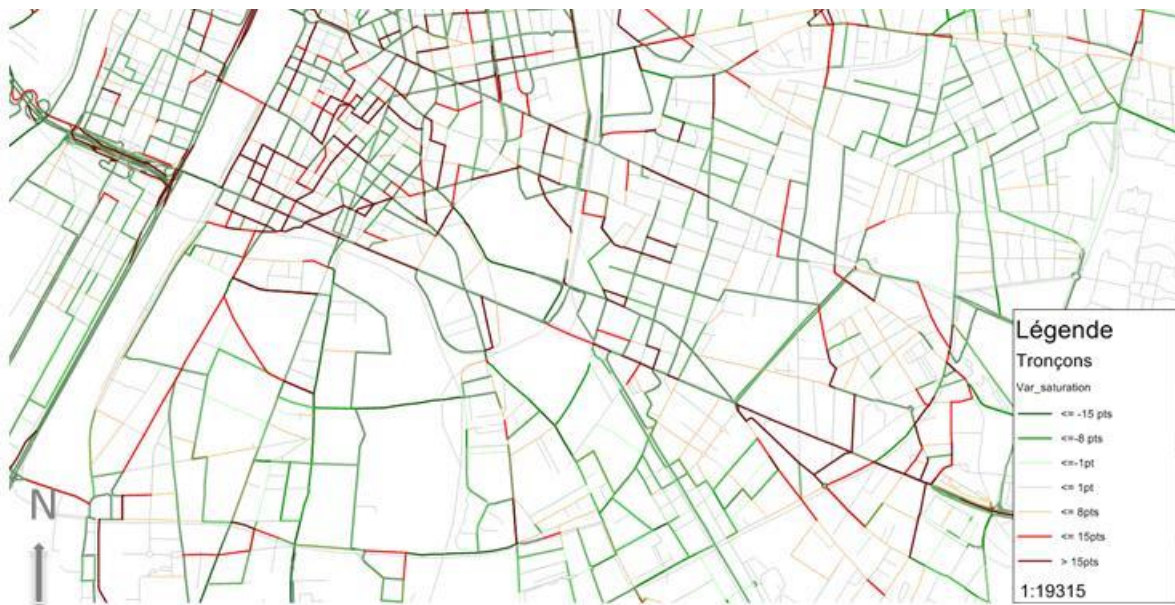
Carte 15 : Variation de la congestion suite à l'accroissement des capacités routières : zoom sur l'A450



Carte 16 : Variation de la congestion suite à l'accroissement des capacités routières : zoom sur l'A43



**Carte 17 : Variation de la congestion suite à l'accroissement des capacités routières :
zoom sur l'axe A6/A7**



**Carte 18 : Variation de la congestion suite à l'accroissement des capacités routières :
zoom sur l'axe Berthelot-Mermoz**

Conclusion

La seconde partie du rapport a permis de tester « sur le cas lyonnais » les principes mis en évidence dans la 1^{ère} partie et qu'il n'est pas inutile de rappeler

- La congestion routière est un phénomène universel dans les grandes villes des pays développés. La principale raison en est l'abondance de véhicules particuliers et la rareté absolue de l'espace viaire. Rappelons les chiffres pour la Métropole de Lyon : 2800 km de voirie pour 600 000 voitures immatriculées dans la zone, sans compter celles qui proviennent de l'extérieur. Compte tenu de cette donnée de base, tout développement de la voirie suscite un trafic induit, sauf à mettre en place un péage de congestion coûteux ou des interdictions drastiques. Faute de cela, les politiques publiques pratiquent plus ou moins explicitement une régulation par la congestion. Les formes varient selon les types d'agglomération et la disposition du réseau viaire. Lorsqu'un périphérique complet est disponible comme à Paris, Rennes ou Nantes, il est plus facile de mettre en place des mesures destinées à réduire fortement le trafic dans la ville centre. Concrètement, certains axes capacitaires servent à drainer le trafic pour qu'il n'encombre pas les rues de capacité faible, parfois volontairement réduite (piétonisation, voie de bus, tramway...). Dans une ville comme Rouen, sans périphérique, la régulation par la congestion est une réalité ancienne, elle s'est aggravée récemment avec la fermeture imprévue du pont de la Reine Mathilde qui a permis d'observer une certaine évaporation de trafic. Les fiches présentées en annexe présentent les choix de ville comme Strasbourg, Nantes ou Toulon. Dans le cas de cette dernière, il est intéressant de constater que la mise en place du tunnel a confirmé le paradoxe de Braess. En créant de la capacité, en se comportant comme un « aspirateur de trafic⁹ », le tunnel constitue une importante zone de concentration de la congestion routière, comme dans le cas du tunnel de Fourvière à Lyon.
- Lorsqu'on se penche sur le cas de l'agglomération lyonnaise, les simulations conduites à la fois à l'échelle de l'agglomération et sur des tronçons plus ciblés conduisent aux constats suivants:
 - l'accroissement de la capacité routière alimente le trafic automobile par effet d'induction et conduit à terme à un accroissement de la congestion. La conjecture de Mogridge (*Jam yesterday, jam today, jam tomorrow*) se trouve ici vérifiée ;
 - les infrastructures routières rapides remplissent une fonction de drainage du trafic indispensable pour préserver les axes secondaires de la congestion et conserver leur rôle de desserte locale ;
 - une baisse de la capacité routière ne génère pas une hausse de la saturation si elle est compensée, dans les mêmes proportions, par une hausse des vitesses ou une offre alternative TC conséquente.

⁹ Aspirateur de trafic : la formule est de l'élu parisien Georges SARRE qui, dans les années 1980, s'était sur cette base opposé au projet LASER visant à construire des pénétrantes autoroutières souterraines à Paris

- Sur cette base, quelles recommandations peut-on faire ? Est-il possible de passer d'une régulation par la congestion à une régulation de la congestion ? La question est souvent posée sous une forme différente avec l'idée de « fluidité lente ». Ne pourrait-on pas obtenir une circulation apaisée, c'est-à-dire à faible vitesse, mais sans les embouteillages ? Ce type de résultat peut être obtenu sur certains « tubes » comme une section autoroutière lorsque l'on peut contrôler les entrées (cf la Tarentaise avant Moutiers ou les projets sur la rocade Bordelaise). Mais cela signifie que l'on choisit les sections où le trafic sera fluide et par construction d'autres sections où les véhicules devront attendre. La fluidité lente n'est donc le plus souvent qu'une autre distribution de la congestion dans l'espace. Cela signifie que si l'objectif est de réduire globalement la congestion, la mise en place de régulation d'accès doit s'accompagner d'une politique de report modal grâce à une offre alternative TC éventuellement accompagnée d'un péage urbain. Ce dernier pouvant servir à financer les TC. Mais le problème est que les politiques publiques ont du mal à lier les deux options. Face au problème de l'envahissement de la ville par la voiture, un développement de l'offre TC est assuré, mais les contraintes restent faibles sur l'usage de la voiture. De même que l'on a parlé en France de « préférence pour le chômage », on peut dire que les politiques de mobilité urbaine révèlent de fait une « préférence pour la congestion ».
- Ce raisonnement s'applique parfaitement au cas lyonnais et notamment au déclassement de la section autoroutière A6-A7. Sur cet axe, les trafics, qui avaient atteint en 2012 près de 115 000 véhicules/jour, se rapprochent plutôt aujourd'hui de 100 000. L'objectif de la Métropole est de faire baisser progressivement ce chiffre, notamment pour la zone de Perrache soit moins polluée et qu'à terme la rive droite des berges du Rhône, au droit du quartier Confluence, ne soit pas monopolisée par les voiries routières. D'une façon ou d'une autre, le déclassement A6-A7 vise donc à réduire le trafic en réduisant les capacités. Mais comme cela a été montré dans la seconde partie, cela ne provoquera pas seulement de l'évaporation de trafic. Il y aura report sur d'autres axes où les riverains et les élus ne souhaitent pas un tel scénario. Reporter 20 000 ou 30 000 véhicules/jour sur le reste du réseau viaire n'ira pas sans créer de la congestion en de nombreux endroits, d'autant que pour beaucoup d'utilisateurs du tunnel de Fourvière, il n'existe pas vraiment d'alternative par les transports collectifs. Gageons donc que les restrictions de voirie seront prudentes et progressives.

Bibliographie

BONNAFOUS, A., CROZET, Y., MERCIER, A., OVTRACHT, N., 2009, *MOSART (MODélisation et Simulation de l'Accessibilité aux Réseaux et aux Territoires) : un prototype d'outil d'aide à la décision individuelle et collective pour une mobilité durable*. Rapport final pour le compte du PREDIT, 80 p.

BUISSON, C., LESORT, J-B., 2010, *Comprendre le trafic routier. Méthodes et calculs*, Editions du Certu, 114 p.

CROZET Y., JOLY I., 2004, Budgets temps de transport : les sociétés tertiaires confrontées à la gestion paradoxale du "bien le plus rare", *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n°45, pp. 27-48

CROZET Y., 2005, *Le temps et les transports de voyageurs*, 127^{ème} Table Ronde de la CEMT, Le temps et les transports, Editions de l'OCDE, Paris, pp. 27-69 (en version française) version anglaise également disponible

DIRCE, 2016, Carte du trafic 2015 géré par le PC Genas. Disponible < <http://www.dir.centre-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/genas.pdf>>

HERAN, F., RAVALET, E., 2008, La consommation d'espace-temps des divers modes de déplacement en milieu urbain. Rapport final pour le PREDIT, 188 p. Disponible < http://www.innovations-transports.fr/IMG/pdf/08-06_-_conso_espace_IdF_-_Heran.pdf>

Application au cas de l'Île de France

LOMAX, T., TURNER, S., SHUNK, G., LEVINSON, H.S., PRATT, R. H., BAY, P. N. , Douglas, G. B, 1997, NCHRP Report 398: Quantifying Congestion, Vol 2., User's Guide. TRB, National Research Council, Washington, D.C.

MERCIER, A., 2013, Simuler l'accessibilité urbaine avec l'outil MOSART, in *Ville et mobilité. Nouveaux regards de la recherche*, Collection « Méthodes et approches », éd. Economica.

MOGRIDGE M. J. H., 1980, *Travel in towns : jam yesterday, jam today, jam tomorrow?*, Londres, McMillan, 308 pp

NCHRP, 1997, *Quantifying Congestion*, Vol. 1, Final Report - Report 398, Transportation Research Board, National Research Council.

ROBITAILLE, M., NGUYEN, T., 2003, Évaluation de la congestion « De la théorie à la pratique » Réseau routier de l'agglomération de Montréal, *Congrès de l'Association des transports du Canada*, St. John's, 28p.

SCHRANK, D., LOMAX, T., 2001, Texas Transportation Institute. Texas Transportation Institute, Texas A & M University. College Park, Tex., 67p.