



HAL
open science

Evaluation de la régulation de cinq accès de la rocade de Grenoble

Frédéric Aliaga, Christine Buisson, Philippe Mansuy, Philippe Coutard,
Valentine Creusel

► To cite this version:

Frédéric Aliaga, Christine Buisson, Philippe Mansuy, Philippe Coutard, Valentine Creusel. Evaluation de la régulation de cinq accès de la rocade de Grenoble. Rencontres de la mobilité intelligente, ATEC, Jan 2019, Montrouge, France. hal-02373431

HAL Id: hal-02373431

<https://hal.science/hal-02373431>

Submitted on 21 Nov 2019

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.

Evaluation de la régulation de cinq accès de la rocade de Grenoble

Frédéric Aliaga, Cerema Centre Est,
Christine Buisson, Licit (Ifsttar-Cosys / ENTPE)¹,
Philippe Mansuy, DIR Centre Est,
Philippe Coutard, DIR Centre Est
Valentine Creusel, Dreal Grand Est

Article pour les rencontres de la mobilité intelligente, ATEC, 23-24 janvier 2019, Montrouge.

Dans cet article nous analysons l'impact de la mise en place de la régulation d'accès sur la rocade sud de Grenoble (sens extérieur) par la Direction Interdépartementale des Routes Centre-Est. Cette analyse est basée sur un ensemble très complet de données de débit et de temps de parcours. Ceci nous permet de mettre en évidence un impact positif significatif en heure de pointe du matin. L'article s'organise de la manière suivante : description du réseau et des données puis présentation de la méthode d'analyse des données. La dernière partie est consacrée aux résultats et à leur discussion, avant une conclusion.

Description des données et du réseau

Localisation du site expérimental et zone concernée

L'agglomération de Grenoble regroupe plus de 500 000 habitants et son réseau autoroutier est composé, pour la partie la plus centrale, de deux voies à caractère autoroutier à deux fois deux voies (l'A480 et la RN 87). Ces deux axes se rejoignent en un seul point, au niveau de l'échangeur du Rondeau. Ainsi, le réseau n'est pas maillé. Pour une ville de cette taille, la congestion est donc importante.

La Direction Interdépartementale des Routes Centre-Est (DIR-CE) est en charge de la gestion de la RN87 (dite aussi rocade sud) dont le trafic moyen journalier annuel est de 97 100 véh/j entre Rondeau et Libération. Au vu de la congestion, la DIR Centre Est a décidé de mettre en place une régulation d'accès sur cinq accès répartis sur cinq kilomètres de cette rocade, sur la chaussée extérieure (Ouest vers Est), (Mansuy, Jacquet, & Buisson, 2017).

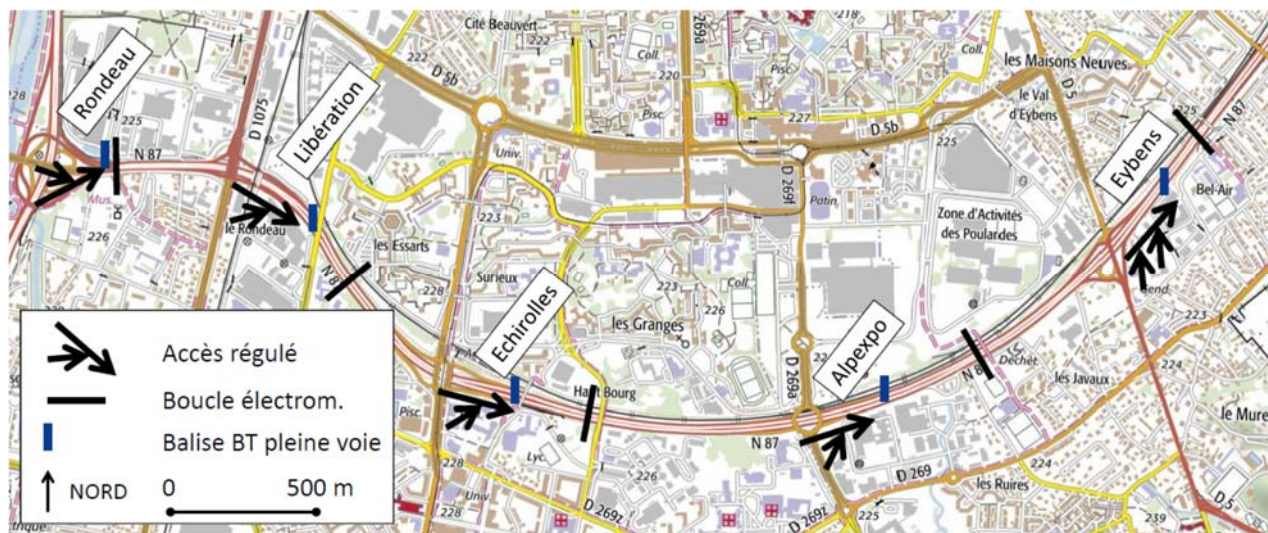


Figure 1 : carte de la zone régulée sur la rocade sud de Grenoble. Deux échangeurs sont particuliers : à l'échangeur du Rondeau le trafic secondaire rejoint l'autoroute par la gauche ; à l'échangeur d'Eybens, deux bretelles permettent de rejoindre l'autoroute, une pour les usagers venant de la partie nord du réseau urbain, la seconde pour ceux provenant du sud. (Source : www.geoportail.fr).

Principe de fonctionnement de la régulation d'accès

Le principe de la régulation d'accès mise en place est de réguler le débit issu de la bretelle d'accès par feu à deux phases (rouge et jaune clignotant). La figure suivante présente les équipements que l'on

¹ Auteur correspondant : christine.buisson@ifsttar.fr

retrouve sur chacune des cinq bretelles. L'objectif de la régulation d'accès est de maximiser l'offre de l'infrastructure en maintenant le plus longtemps possible une situation fluide sur un convergent.

En effet, il est admis dans la littérature, sur la base de nombreux cas expérimentaux, que si la congestion s'installe sur un convergent, sa capacité devient alors de 3 à 20 % inférieure à ce qu'elle est en situation fluide. Ce phénomène est appelé "capacity drop" ou chute de capacité. Il semble dû au fait que le flux congestionné, dont la vitesse est faible, connaît une accélération progressive à l'aval du bouchon, avec une augmentation graduelle de la distance entre véhicules.

Dans l'objectif de maintenir la capacité nominale, dès que la demande de trafic sur la section courante est supérieure à un seuil, on applique un cycle de feux à l'aval de cette bretelle (grâce au feu qui y est placé). Une file d'attente se forme alors sur la bretelle. Le feu étant situé à l'extrémité de la bretelle et en amont de la zone d'accélération, on garantit que la vitesse des véhicules venant de la bretelle soit suffisante pour que leur insertion dans le trafic de la section courante ne perturbe pas ce trafic². Ainsi on maintient un trafic fluide sur la section courante et donc un fonctionnement optimal, car si la file d'attente se formait la capacité serait réduite (à cause du "capacity drop").

Lorsque la file d'attente sur la bretelle est trop longue et qu'elle menace de remonter sur le réseau urbain, elle est détectée par le magnétomètre (1) placé en début de bretelle (voir Figure 2). Le cycle du feu est alors réglé pour que les périodes de vert soient plus longues et que la file d'attente se vide progressivement. Il peut y avoir alors (comme en l'absence de régulation d'accès) création de congestion sur la section courante. Mais, pendant toute la période où la bretelle a été régulée, l'autoroute a écoulé un trafic fluide, donc avec un débit supérieur, ce qui bénéficie aux usagers de l'autoroute. Par ailleurs, comme nous le verrons par la suite, les temps perdus sur la bretelle à cause du feu de régulation sont relativement faibles.

De plus, le fait d'installer sur la bretelle un feu dont le cycle est généralement court permet d'uniformiser les entrées et d'éviter les à-coups de la demande. En effet, lorsque la bretelle est située en aval d'un carrefour à feu urbain (ce qui est le cas de plusieurs des entrées concernées à Grenoble) la demande sur la bretelle est une alternance de trafic élevé (un véhicule toute les 2 secondes) et de trafic nul pendant le reste du cycle. Le cycle court du feu de la bretelle permet de « hacher » la demande avec par exemple un flux continu d'un véhicule toutes les 6 secondes, au lieu d'un débit de 20 véhicules pendant 40 secondes suivi d'un débit nul pendant les 80 secondes suivantes. Le débit moyen de la bretelle est le même, mais le trafic de la section courante est beaucoup moins perturbé. C'est l'effet d'écrêtage de la demande.

Pour régler la durée du cycle et du vert du feu placé en aval de la bretelle, on utilise dans notre cas l'un des algorithmes les plus répandus dans le monde pour la régulation d'accès : ALINEA (Papageorgiou, et al., 1991). Cet algorithme vise à ce que le flux qui s'écoule de la bretelle soit adapté de manière dynamique à la capacité résiduelle de la voie principale.

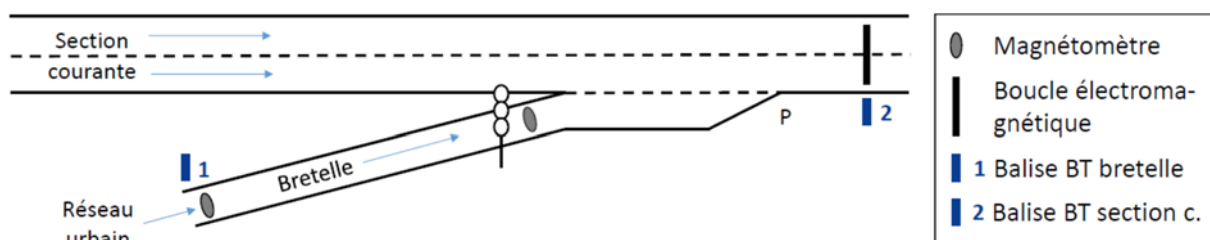


Figure 2 : équipements présents sur chacune des bretelles régulées au cours de l'expérimentation de régulation d'accès à Grenoble : une boucle électromagnétique est située en aval du convergent. Un capteur Bluetooth (1) permet de dater l'entrée sur la bretelle de véhicules équipés, un second capteur par accès (2) permet de dater la sortie de ces mêmes véhicules et de ceux qui ont été détecté sur l'échangeur précédent. On détermine ainsi les valeurs de temps de parcours par section et par bretelles. Les magnétomètres permettent de déterminer les débits sur les bretelles. Les boucles électromagnétiques, préexistantes entre chaque échangeur, sont utilisées dans notre étude pour déterminer les débits. Un couple de magnétomètres par voie est positionné en bout de bretelle et est utilisé par l'algorithme de régulation d'accès pour optimiser, avec ALINEA, le cycle du feu. (Source : auteurs)

² Dans notre cas, de plus, la vitesse maximale autorisée sur la section courante est de 70 km/h lorsque la régulation d'accès est active.

Rappel des principes de l'évaluation de la gestion dynamique des déplacements

Evaluer l'impact d'une stratégie quelconque consiste à apporter une réponse à la question suivante : « dans quelle mesure les bénéfices procurés par cette stratégie répondent-ils aux objectifs qui lui ont été assignés ? » (Certu, 2004). Ceci conduit tout évaluateur à chercher à résoudre deux groupes de questions :

- Quel(s) indicateur(s) adopter, qui permette(nt) de quantifier la satisfaction des objectifs.
- Comment définir des périodes avec et sans application de la stratégie qui soient similaires *toutes choses égales par ailleurs* ?

Ces deux questions seront abordées dans la partie suivante : tout d'abord la définition des indicateurs compte tenu des données disponibles, puis la composition de la base de comparaison.

Méthode d'analyse des données

Choix des indicateurs et méthode de calcul à partir des variables mesurées

La réponse à la première question, dans le cas de la congestion et comme nous l'avons montré antérieurement (Buisson & Guyard, 2017), passe par la combinaison de deux indicateurs au moins :

- Un indicateur destiné à mesurer l'intensité de la congestion, typiquement le temps de parcours moyen ou le temps total perdu ;
- Un indicateur destiné à mesurer l'amplitude de la congestion, c'est-à-dire le nombre d'usagers touchés, typiquement le débit total pendant l'heure de pointe ou le nombre de kilomètres parcourus.

Pour mener à bien le calcul de ces deux familles d'indicateurs nous disposons de données géographiques et de description du réseau (longueur des tronçons, position des feux et des capteurs). Nous avons également accès à la main courante, ce qui nous permet d'identifier les périodes avec incidents (qui n'ont pas été traitées ici) et les périodes d'activation de la régulation.

| Nom de la variable | Appareillage utilisé | Fréquence de calcul | Points de mesure |
|---|---|---|---|
| Débit en section courante $Q_s(t)$ | Boucles électromagnétiques | 6 minutes | Rondeau ($s = 1$) Libération ($s = 2$) Echirolles ($s = 3$) Alpexpo ($s = 4$) |
| Débit sur la bretelle $Q_b(t)$ | Magnétomètres | 6 minutes (par souci d'homogénéité, mais une période plus courte serait possible) | Libération ($b = 2$) Echirolles ($b = 3$) Alpexpo ($b = 4$) Eybens ($b = 5$) |
| Temps de parcours de la section courante $Tp_s(t)$ | Différence entre la date de détection de l'appareil BT embarqué par le capteur BT en entrée de tronçon et sa date de détection par le capteur BT en entrée du tronçon aval | Données individuelles, filtrées et agrégées par périodes de 6 minutes voir (Aliaga, 2019) | Rondeau - Libération ($s = 1$) Libération - Echirolles ($s = 2$) Echirolles - Alpexpo ($s = 3$) Alpexpo - Eybens ($s = 4$) |
| Temps de parcours de la bretelle $Tp_b(t)$ | Différence entre la date de détection de l'appareil BT embarqué par le capteur BT en entrée de bretelle et sa date de détection par le capteur BT en entrée du tronçon aval | Données individuelles, filtrées et agrégées par périodes de 6 minutes voir (Aliaga, 2019) | Libération ($b = 2$) Echirolles ($b = 3$) Alpexpo ($b = 4$) Eybens ($b = 5$) |

Tableau 1 : variables utilisées pour calculer les indicateurs, appareillage utilisé, fréquence d'agrégation et localisation des données disponibles.

De plus, les capteurs nous donnent accès aux données décrites dans le Tableau 1. Nous ne rentrons pas ici dans la description du travail de filtrage, de correction des données aberrantes et de l'interpolation des données manquantes. Le lecteur intéressé se reportera à (Aliaga, 2019). Les méthodes statistiques les plus reconnues ont été utilisées et la qualité de la correction des données a été systématiquement testée sur des échantillons sans erreur.

On notera dans ce tableau que bien que 5 accès soient indiqués comme régulés dans la Figure 1, nous ne mentionnons ici que les accès 2 à 5. En effet, le premier accès, celui du Rondeau, présente deux particularités qui nous ont conduits à l'écartier de la suite de l'étude. Tout d'abord, le feu de régulation est placé sur une bretelle qui rejoint l'autoroute par la gauche (ce qui est inhabituel). Ensuite, pendant un nombre significatif (une petite moitié) de périodes de pointes utilisées par la suite, cet accès n'a pas été régulé. Enfin, cet accès est placé en limite amont de la zone pour laquelle nous avons accès aux données, or les effets d'une régulation se font sentir en amont du convergent régulé.

Les figures suivantes présentent les évolutions des différentes variables en section courante pour les périodes avec et sans régulation. Pour notre étude, nous nous sommes systématiquement attachés aux périodes de pointe, en choisissant une durée unique de 4 heures. L'heure de pointe du matin (HPM) est considérée entre 6h et 9h54 et l'heure de pointe du soir (HPS) est considérée entre 16h et 19h54. Chaque heure de pointe correspond donc à 40 périodes de mesure.

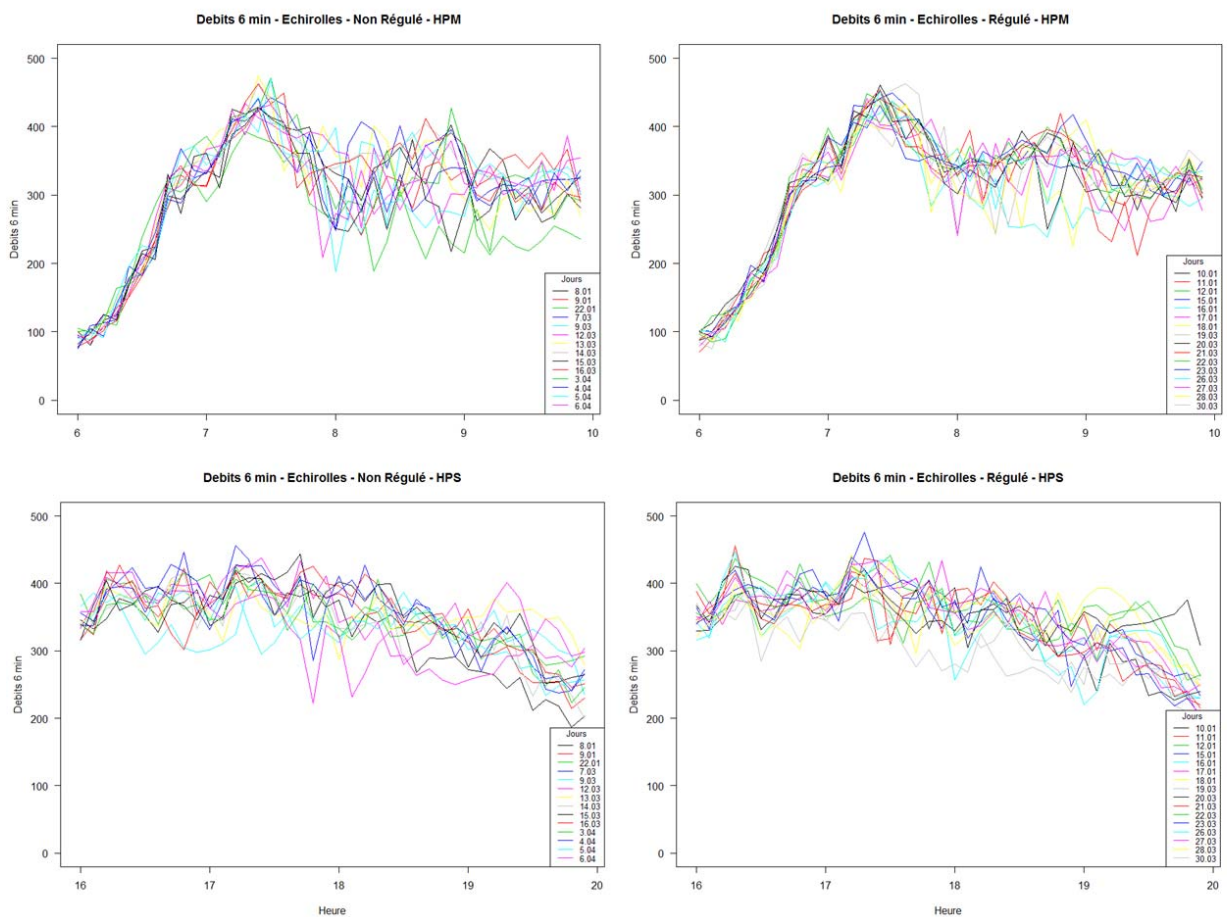


Figure 3 : évolution du débit par période de 6 minutes sur la section d'Echirolles sans régulation (à gauche) avec régulation (à droite) en heure de pointe du matin (en haut) et en heure de pointe du soir (en bas). (Source : auteurs)

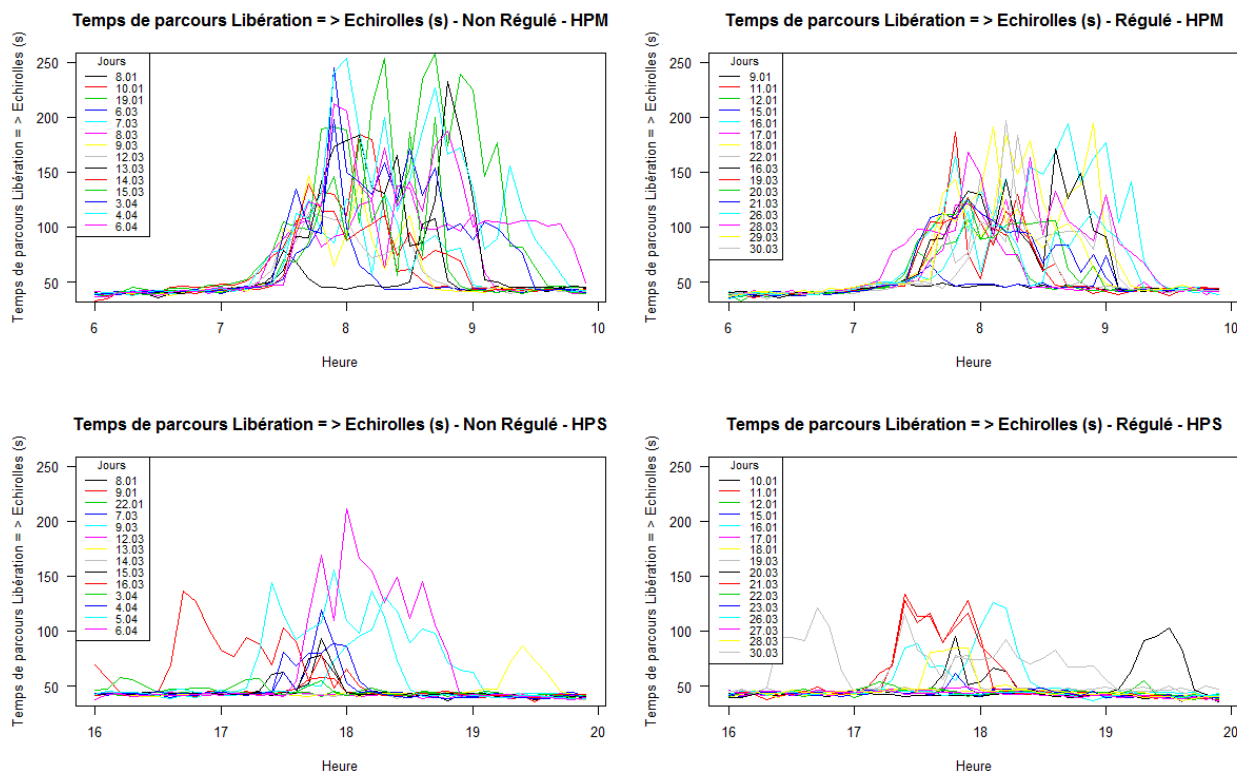


Figure 4 : évolution des temps de parcours moyens entre la balise BT de Libération et celle d'Echirolles par période de 6 minutes sans régulation (à gauche) avec régulation (à droite) en heure de pointe du matin (en haut) et en heure de pointe du soir (en bas). (Source : auteurs)

Une première analyse des temps de parcours du tronçon central permet de constater que la congestion est significativement plus importante le matin que l'après-midi. Nous avons retenu pour cet article³ les deux principaux indicateurs suivants :

- Pour l'amplitude nous utilisons la distance totale parcourue en section courante, sur les quatre sections, pendant toute l'heure de pointe soit 40 périodes de 6 minutes :

$$D_{tot}^{HP} = \sum_{t=1}^{40} \sum_{s=1}^4 L_s \times Q_s(t) \quad (1)$$

Où L_s est la longueur respective des sections s et HP désigne soit HPM soit HPS.

- Pour l'intensité de la congestion, nous utiliserons le temps de parcours, soit individuel soit total ; en séparant, dans un premier temps, ce qui se passe sur les bretelles de ce qui se passe sur la section courante, avant de combiner les deux valeurs de temps total passé pour permettre une évaluation globale de l'impact de la régulation d'accès.

Un autre indicateur intéressant est la proportion de kilomètres parcourus à une vitesse inférieure à un seuil parmi tous les kilomètres parcourus pendant une période de pointe. Par exemple si 2 000 véhicules parcourent 4 kilomètres à 80 km/h et que 1 000 véhicules parcourent 2 kilomètres à 20 km/h, le nombre total de kilomètres parcourus est de $4 \times 2000 + 2 \times 1000 = 10\,000$. Parmi ces 10 000 kilomètres, 2 000 soit 20 % ont été parcourus à une vitesse inférieure ou égale à 20 km/h.

Nous présentons également d'autres résultats dans la partie suivante, notamment sur la variabilité des vitesses. Définissons tout d'abord les périodes que nous utilisons pour comparer la situation avec et sans régulation d'accès.

Choix des périodes avec et sans régulation d'accès pour l'évaluation de son effet sur la congestion

Pour réaliser une comparaison dont les conclusions puissent apporter des éléments probants sur l'efficacité ou l'inefficacité de la stratégie étudiée, il convient de définir deux échantillons comparables, pour lesquels

³ D'autres ont été calculés, ils sont présentés dans (Aliaga, 2019).

la seule différence est la mise en place ou non de la mesure que l'on cherche à évaluer. Deux méthodes sont possibles :

- Choisir un ensemble de jours avec régulation active en 2018 (par exemple les 20 premiers jours ouvrables de janvier 2018) d'une part, les jours identiques d'une année antérieure d'autre part.
- Mettre en œuvre la régulation d'accès une semaine sur deux pendant 8 semaines de la même année.

Pour choisir entre ces deux méthodes, il faut définir celle qui permet la plus grande similitude entre ces échantillons en ce qui concerne la demande et l'offre du réseau. La figure suivante montre les valeurs moyennes de débit et de vitesse sur la boucle d'Eybens pour les cinq années de 2014 à 2018 (en enlevant les jours régulés pour cette année-là). Des résultats similaires sont obtenus pour les autres boucles du parcours. Nous en déduisons qu'il n'est pas possible d'utiliser la première méthode, les observations de chaque année étant spécifiques. Nous choisissons donc un échantillon composé uniquement de jours de 2018.

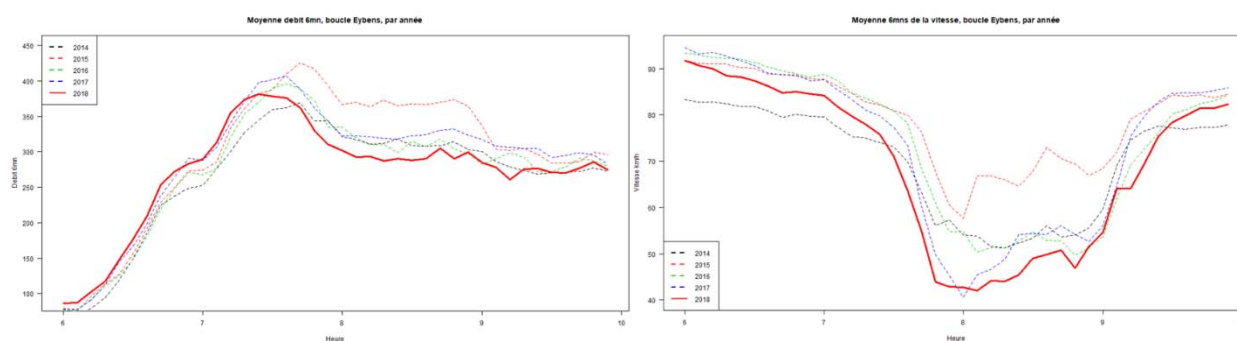


Figure 5 : comparaison des valeurs moyennes sur chaque période sur plusieurs jours similaires des valeurs de débits (6 minutes) à gauche et des valeurs moyennes de vitesse (km/h) à droite des années 2014 à 2018. (Source : auteurs)

Comme nous l'avons indiqué ci-dessus, nous retenons pour chaque heure de pointe une période de 4 heures, soit de 6h à 9h54 pour le matin, soit de 16h à 19h54 pour l'après-midi. Pour le matin, nous avons sélectionné un total de 14 périodes de pointe sans régulation et de 16 avec régulation, ainsi que pour l'après-midi. Le tableau ci-dessous présente l'ensemble des jours retenus. Ce sont des jours pour lesquels il n'y a pas de situation particulière indiquée par la main courante.

| Jours sans régulation | | | | | | Jours avec régulation | | | | | |
|-----------------------|--------------------|--------------|------------|--------------------|--------------|-----------------------|--------------------|--------------|------------|--------------------|--------------|
| Matin | | | Après-midi | | | Matin | | | Après-midi | | |
| Date | Km par-courus (km) | TP total (h) | Date | Km par-courus (km) | TP total (h) | Date | Km par-courus (km) | TP total (h) | Date | Km par-courus (km) | TP total (h) |
| 8/1 | 28 600 | 410 | 8/1 | 30 900 | 389 | 10/1 | 29 300 | 360 | 9/1 | 31 800 | 429 |
| 9/1 | 27 500 | 527 | 10/1 | 33 600 | 402 | 11/1 (*) | 29 600 | 479 | 11/1 | 33 200 | 498 |
| 22/1 | 25 100 | 697 | 19/1 | 33 800 | 411 | 12/1 | 29 700 | 448 | 12/1 | 34 400 | 420 |
| 7/3 | 29 900 | 436 | 6/3 | 34 100 | 450 | 15/1 | 29 900 | 411 | 15/1 | 32 700 | 400 |
| 9/3 | 29 900 | 502 | 7/3 | 31 800 | 482 | 16/1 | 27 000 | 639 | 16/1 | 32 000 | 470 |
| 12/3 | 29 700 | 555 | 8/3 | 33 000 | 384 | 17/1 | 28 500 | 478 | 17/1 | 32 500 | 407 |
| 13/3 | 29 000 | 509 | 9/3 | 33 700 | 407 | 18/1 | 28 200 | 604 | 18/1 | 33 200 | 414 |
| 14/3 | 30 100 | 445 | 12/3 | 32 200 | 387 | 19/3 | 30 400 | 531 | 19/3 | 31 000 | 478 |
| 15/3 | 27 400 | 620 | 13/3 | 33 900 | 412 | 20/3 | 30 000 | 586 | 20/3 | 33 800 | 426 |
| 16/3 | 30 800 | 462 | 14/3 | 34 000 | 511 | 21/3 | 29 400 | 433 | 21/3 | 32 500 | 468 |
| 3/4 | 28 400 | 529 | 15/3 | 32 000 | 401 | 22/3 (**) | 30 500 | 462 | 22/3 | 34 000 | 416 |
| 4/4 | 28 400 | 608 | 3/4 | 34 100 | 454 | 23/3 | 30 600 | 451 | 23/3 | 34 000 | 417 |
| 5/4 | 27 400 | 680 | 4/4 | 31 800 | 521 | 26/3 | 30 300 | 504 | 26/3 | 32 000 | 402 |
| 6/4 | 28 200 | 661 | 6/4 | 32 400 | 610 | 27/3 | 29 500 | 576 | 27/3 | 34 200 | 405 |
| | | | | | | 28/3 | 29 600 | 515 | 28/3 | 33 900 | 491 |
| | | | | | | 30/3 | 29 300 | 482 | 30/3 | 28 500 | 483 |
| Moy. | 28 600 | 546 | | 32 950 | 444 | | 29 493 | 497 | | 32 950 | 432 |
| E. type | 1 479 | 94 | | 1 073 | 66 | | 1 004 | 80 | | 1 042 | 32 |
| Vitesse moy. (km/h) | | 52,4 | | | 74,1 | | | 59,3 | | | 76,3 |

Tableau 2 : liste des jours de 2018 retenus pour l'évaluation. (*) la régulation d'accès n'était pas effective sur les deux accès d'Eybens ; (**) : la régulation d'accès n'était pas effective sur celui des deux accès d'Eybens situés le plus en aval. Pour chaque jour, on a reporté le nombre de kilomètres parcourus et le temps total passé en circulation, qui est donné en heures. (Source : auteurs)

Pour se faire une première idée des différences entre les différents types de période, les valeurs moyennes et les écarts-types sont indiqués pour les kilomètres parcourus (variable définie par l'équation de la page 5) et les temps totaux passés. On constate que les périodes de l'après-midi correspondent à des périodes beaucoup plus circulées (avec plus de 10 % de kilomètres parcourus supplémentaires par rapport au matin, pour la même durée), avec un temps total passé bien inférieur, comme en témoignent les vitesses moyennes.

Au sein de chaque période de pointe, la régulation d'accès est active tant qu'il existe une bretelle sur laquelle la file d'attente n'est pas suffisamment longue pour que le feu soit toujours mis au vert. La figure suivante présente en cumulé sur les 16 périodes régulées le matin et les 16 périodes régulées l'après-midi le pourcentage qui est régulé, pour chacune des périodes de 6 minutes. Elle présente aussi la comparaison des débits, entre les 14 périodes non régulées et les 16 périodes régulées pour le matin et l'après-midi.

Il se confirme que, en ce qui concerne le débit écoulé, les deux échantillons sont globalement similaires. En effet, seulement trois périodes sont statistiquement différentes le matin et aucune l'après-midi. Notons que la valeur présentée de débit est le débit 6 minutes pondéré par les longueurs de section c'est-à-dire calculé par la formule suivante (destinée à synthétiser ce qui se produit sur l'ensemble de la zone concernée) :

$$\bar{Q}(t) = \frac{\sum_{s=1}^5 Q_s(t) \times L_s}{\sum_{s=1}^5 L_s} \quad (2)$$

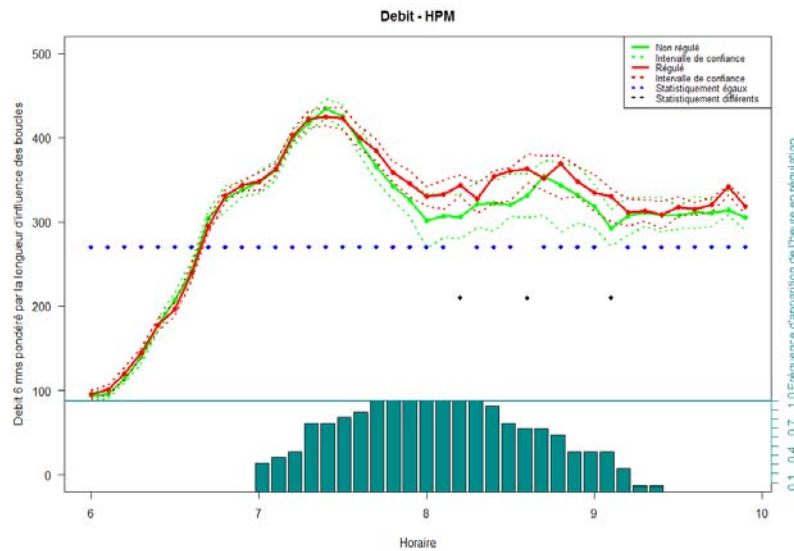


Figure 6 : évolution du débit moyen pondéré en heure de pointe du matin. On constate que les deux échantillons sont statistiquement significativement différents dans un petit nombre de périodes. En bas est présenté la fraction, parmi les 40 périodes des 16 jours régulés, des périodes pendant lesquelles la régulation est activée. (Source : auteurs)

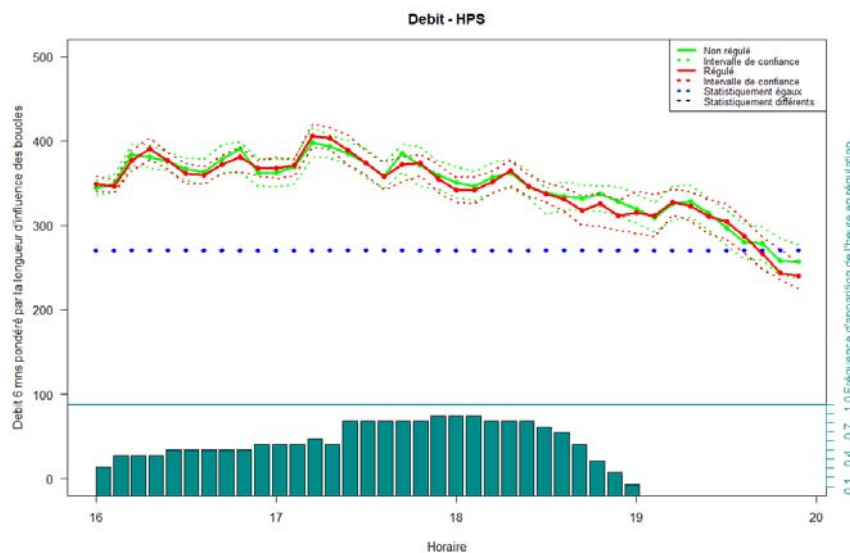


Figure 7 : évolution du débit moyen pondéré en heure de pointe du matin. On constate que les deux échantillons sont statistiquement significativement différents dans un petit nombre de périodes. En bas est présenté la fraction, parmi les 40 périodes des 16 jours régulés, des périodes pendant lesquelles la régulation est activée. (Source : auteurs)

Présentation des résultats et discussion

Sur la base du travail rigoureux de remplacement des données manquantes, de définition des indicateurs et de constitution des deux échantillons, il est maintenant possible de conduire l'évaluation proprement dite et d'en tirer quelques conclusions.

Effet de la régulation d'accès sur les temps de parcours totaux perdus en section courante

La figure suivante présente les moyennes des valeurs de temps de parcours total perdu en section courante. On constate que la régulation d'accès baisse de manière statistiquement significative les temps de parcours en début d'heure de pointe pour quatre périodes de 6 minutes, de 7h18 à 7h54, soit à la période de montée en charge du réseau. C'est parfaitement cohérent par rapport à ce que nous avons expliqué sur le fonctionnement de la régulation d'accès, qui en effet retarde l'apparition de la congestion. Nous l'avons vu, la régulation est levée lorsque la file d'attente sur la bretelle est trop longue, entraînant une situation de congestion sur la section courante.

Ainsi, dans la deuxième partie de l'heure de pointe du matin, à partir de 8h, la différence entre les moyennes n'est pas statistiquement significative, en raison de la grande variabilité des situations d'un

jour à l'autre (reflétée par un écart-type élevé). Soulignons cependant, que les valeurs moyennes sont toujours supérieures, jusqu'à la fin complète de l'heure de pointe (vers 9h).

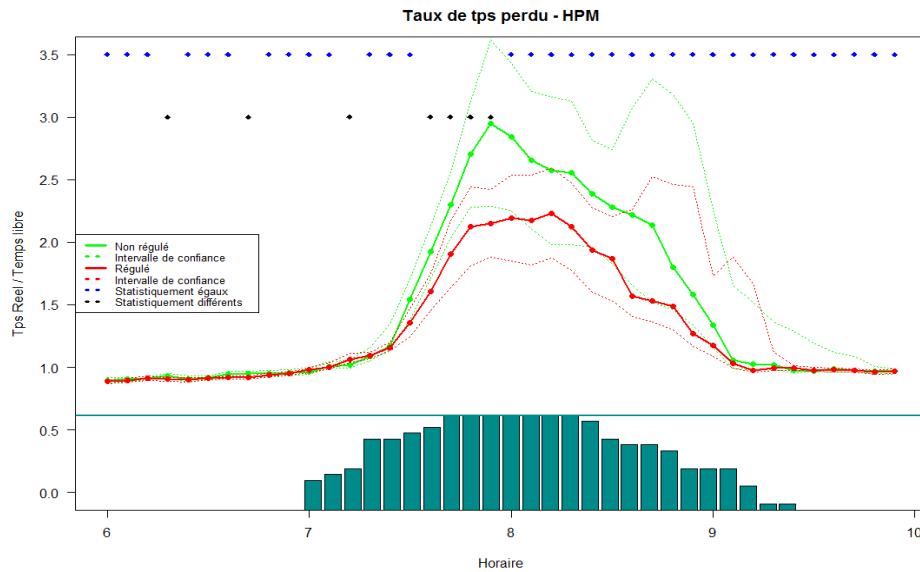


Figure 8 : évolution, en période de pointe du matin, des temps de parcours moyens des périodes régulières et non régulières sur l'ensemble du temps. (Source : auteurs)

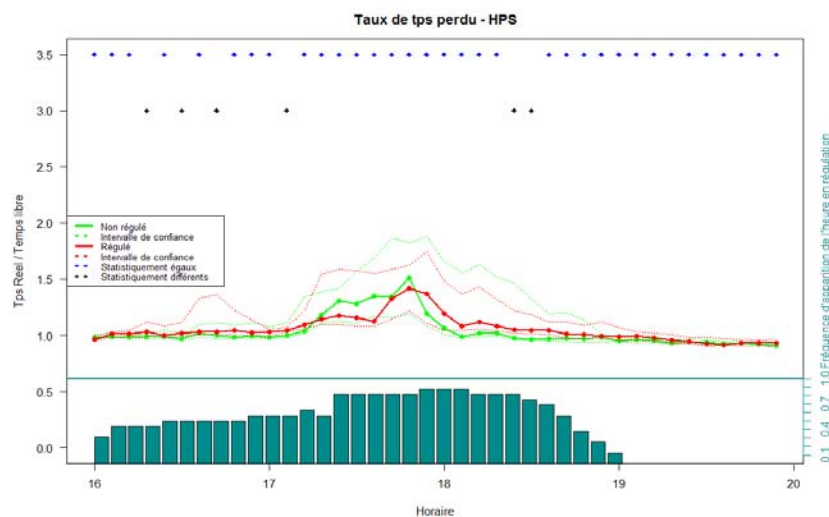


Figure 9 : évolution, en période de pointe du soir, des temps de parcours moyens des périodes régulières et non régulières sur l'ensemble du temps. (Source : auteurs)

Sur la période de pointe du soir, les valeurs de temps total passé sont beaucoup plus faibles, déjà sur la moyenne des périodes non régulières (en vert). La régulation n'apporte pas de différence significative.

Effet de la régulation d'accès sur les variabilités des vitesses d'un jour à l'autre

Ce constat de congestion plus importante et d'effets plus significatifs de la régulation le matin que l'après-midi sur la section courante se confirme lorsque l'on regarde les variabilités de vitesses. Ces variabilités sont calculées comme l'écart-type de toutes les valeurs individuelles (après filtrage) de temps de parcours mesurées au cours d'une des 4 heures d'une des périodes de recueil, matin ou après-midi et avec ou sans régulation.

La figure suivante présente les valeurs obtenues le matin et l'après-midi pour les quatre sections étudiées (rappelons que les temps de parcours, et donc les vitesses, sont calculées comme la différence des dates de détection par les balises Bluetooth placées en sortie et en entrée). On constate tout d'abord (et c'est cohérent avec la remarque précédente sur une plus forte congestion le matin), que les valeurs d'écart-type sont plus élevées le matin que l'après-midi. De plus, le matin, en début d'heure de pointe, les périodes non régulières (en vert) ont des variabilités beaucoup plus importantes que pendant les périodes régulières en rouge. Ceci confirme un effet de la régulation d'accès en début d'heure de pointe.

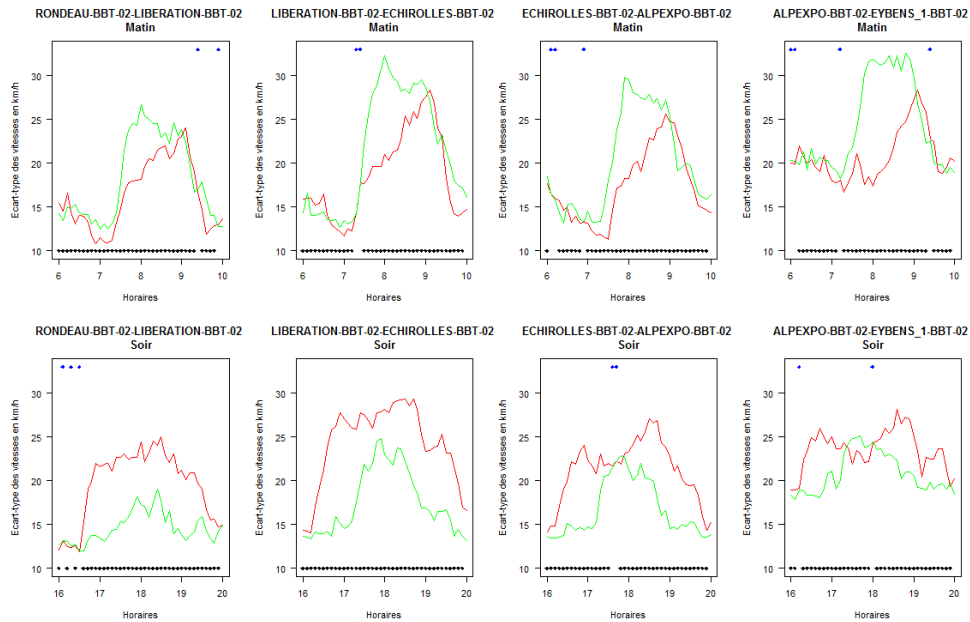


Figure 10 : variabilité des vitesses de parcours des quatre sections étudiées. En rouge les moyennes sur les périodes régulées, en vert les périodes non régulées. (Source : auteurs)

Effet de la régulation d'accès sur les temps de parcours des bretelles

Pour évaluer de manière complète l'impact de la régulation d'accès sur la congestion, il est important de quantifier le retard induit par la présence de feux sur les bretelles. La figure suivante montre que les temps de parcours sont différents (et plus élevés) en heure de pointe du matin régulée par rapport à la période du matin non régulée surtout sur la bretelle d'Alpexpo. Il y a même une période, celle de 7h54 pour laquelle le temps de parcours moyen est supérieur à 40 secondes.

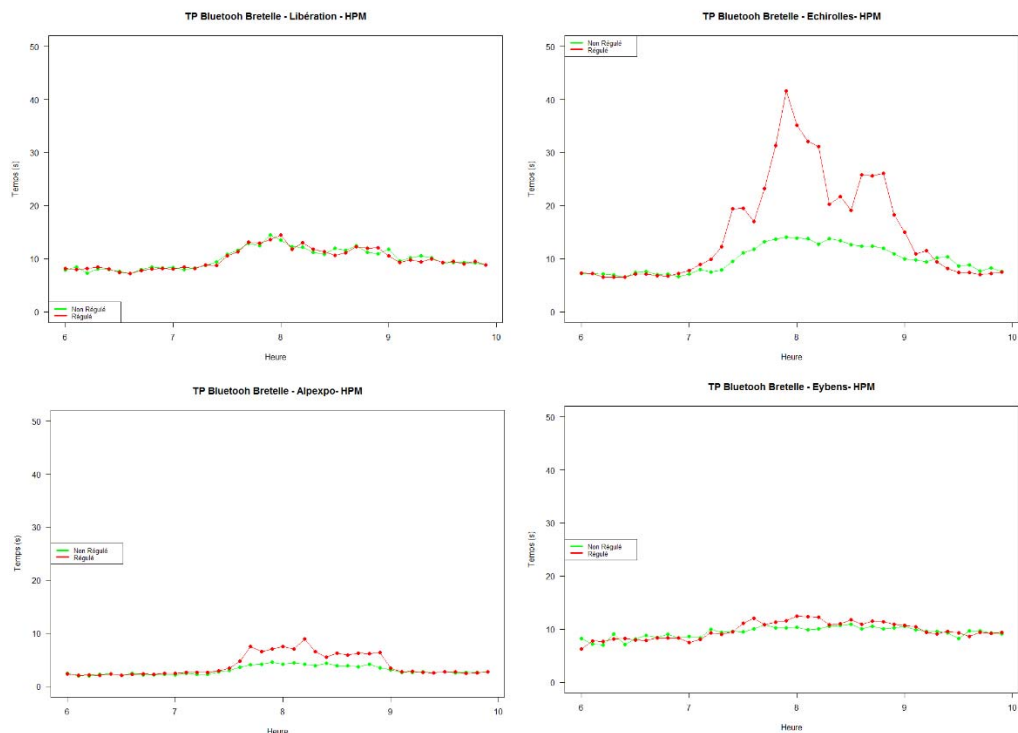


Figure 11 : temps de parcours moyens mesurés par les balises Bluetooth des bretelles (situation non régulée en vert, régulée en rouge), des quatre principales bretelles étudiées, en heure de pointe du matin. (Source : auteurs)

Ceci est à rapprocher de la figure suivante, qui montre les débits pour ces périodes sur les quatre bretelles dont nous avons présenté ci-dessus les temps de parcours. Sur cette figure, on constate que les débits de ces bretelles sont faibles, puisque la valeur la plus élevée est observée avec le magnétomètre de la bretelle d'Alpexpo, pour laquelle le temps de parcours est relativement faible.

Par contre, à Echirolles, où le temps de parcours est le plus élevé, on a des débits inférieurs à 600 veh/h. Au total, en moyenne sur les 16 périodes de pointe du matin, le temps perdu total est de 6 heures sur les quatre bretelles étudiées. Ceci est à rapprocher des effets significatifs de réduction du temps de parcours en section courante où le gain moyen est de 50 heures au total.

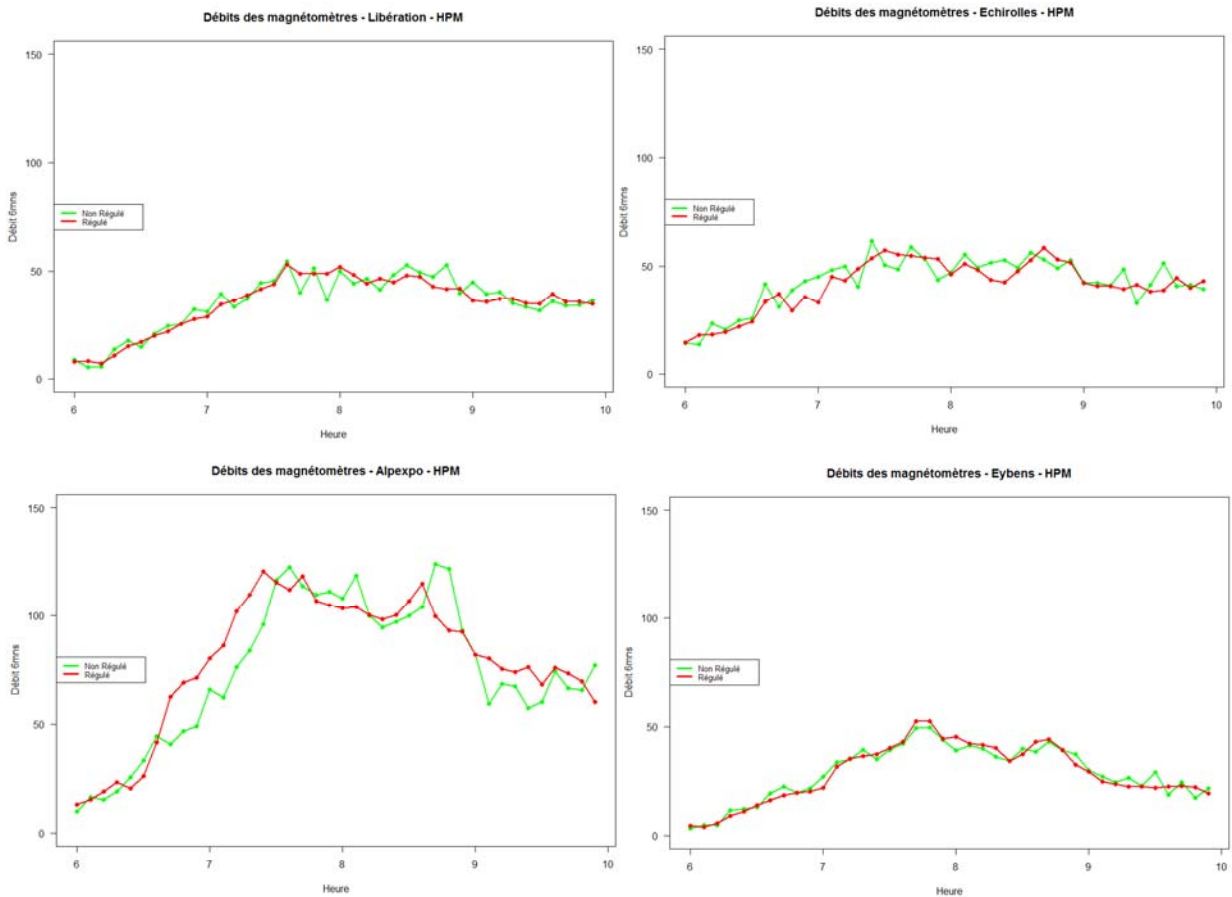


Figure 12 : débits moyens mesurés par les capteurs magnétomètres sur les bretelles, en heure de pointe du matin. (Source : auteurs)

Effet de la régulation d'accès sur les pourcentages de kilomètres parcourus en congestion

Pour calculer un pourcentage de kilomètres parcourus en congestion pour une heure de pointe (du matin ou du soir), on utilise pour chaque jour le temps de parcours de chaque section pendant chaque période de 6 minutes (calculé sur la base des temps de parcours mesurés par les balises Bluetooth) et le débit de chaque section chaque pendant chaque période de 6 minutes, avec des seuils de définition de la congestion qui varient de 10 km/h à 60 km/h. L'équation suivante résume ceci de manière plus synthétique :

$$P(v < Seuil)^{HP} = \frac{\sum_{t=1}^{40} \sum_{s=1}^4 Q_s(t) \times T p_s(t) \times Echelon_{s,t}(T p_s(t) | L_s / Seuil)}{\sum_{t=1}^{40} \sum_{s=1}^4 Q_s(t) \times T p_s(t)} \quad (3)$$

Où $Echelon_{s,t}(T p_s(t) | L_s / Seuil)$ vaut 1 si la valeur de temps de parcours est supérieure à la longueur de la section divisée par la vitesse de seuil et 0 sinon.

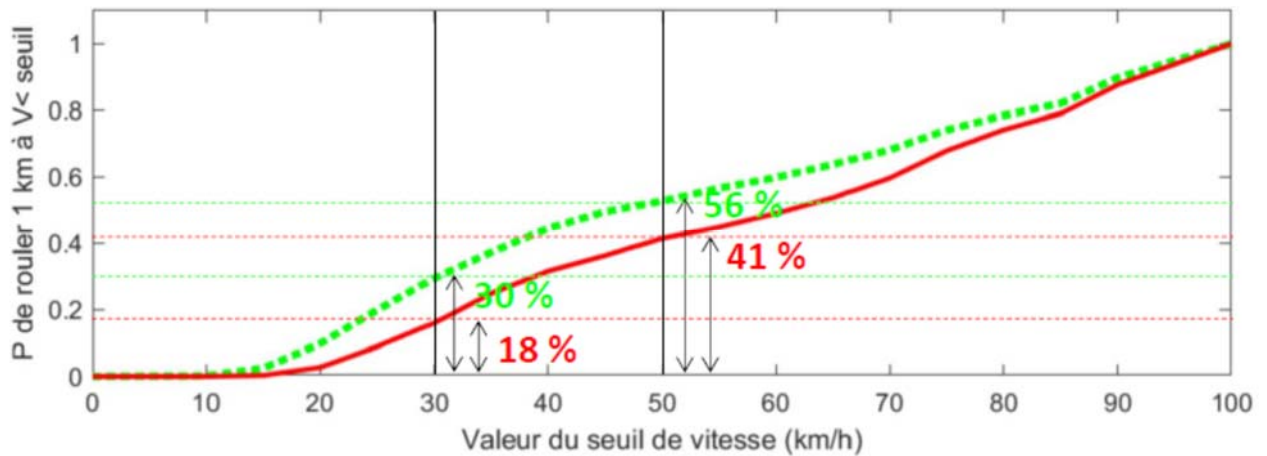


Figure 13 : probabilité de parcourir un kilomètre entre le Rondeau et Eybens sur la rocade sud de Grenoble entre 6 heures et 10 heures, à une vitesse inférieure à une valeur seuil. En vert, valeur obtenue pour les jours sans régulation, en rouge les jours où la régulation a été activée. Pour une valeur de seuil de 30 kilomètres heures, par exemple, sur toute la durée de l'heure de pointe du matin, quelle que soit l'heure du parcours et la zone parcourue, si la régulation n'est pas activée, la probabilité de parcourir un kilomètre à une vitesse plus faible que 30 km/h est de 30 %. Les jours où la régulation a été activée, cette probabilité est de 18 %. Si le seuil est de 50 km/h, les probabilités sont respectivement de 56 et 41 %. (Source : auteurs)

La figure suivante présente les mêmes pourcentages mais en heure de pointe du soir. De nouveau, on identifie bien que la congestion est plus faible que le matin. Il se confirme une nouvelle fois que la régulation d'accès n'a pas du tout le même impact qu'en heure de pointe du matin, puisque la courbe rouge est plus proche de la courbe verte.

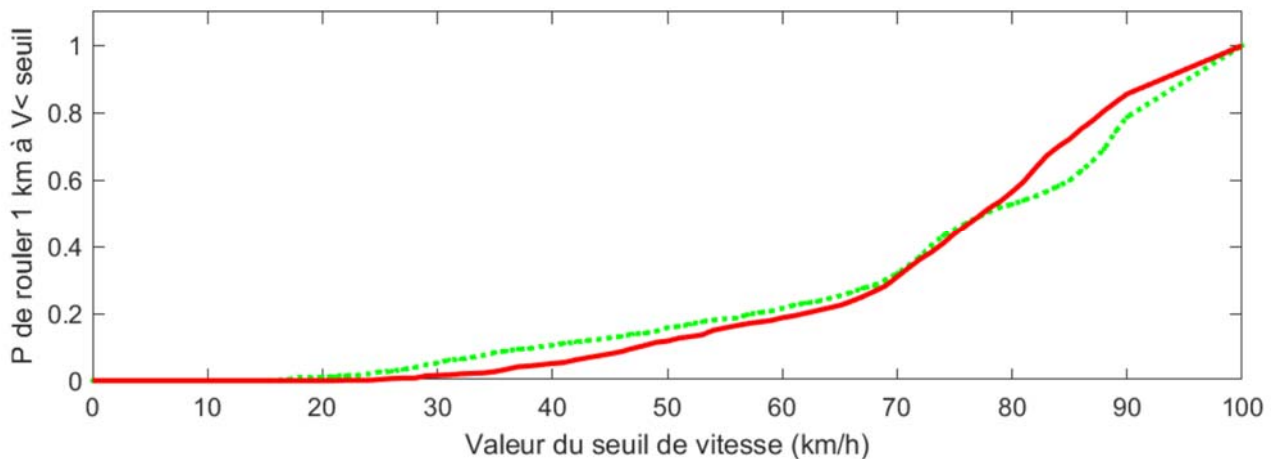


Figure 14 : probabilité de parcourir un kilomètre entre le Rondeau et Eybens sur la rocade sud de Grenoble entre 6 heures et 10 heures, à une vitesse inférieure à une valeur seuil. En vert, valeur obtenue pour les jours sans régulation, en rouge les jours où la régulation a été activée. (Source : auteurs)

Analyse conjointe de l'effet de la régulation d'accès sur les deux grandeurs caractéristiques de la congestion : l'amplitude et la dureté

La présentation précédente est convaincante pour mettre en évidence que le temps de parcours est plus faible les jours où la régulation a été activée par rapport aux jours sans régulation. Cependant, la demande totale peut être différente de manière extérieure (à cause d'événements modifiant le volume et la répartition de la matrice origine destination), et être la seule cause de ces différences de temps de parcours. Pour affermir donc nos conclusions sur l'effet de la régulation d'accès, il nous faut donc comparer les jours régulés aux jours non régulés, en utilisant simultanément les deux grandeurs que nous avons défini page 5, pour caractériser respectivement l'amplitude et la dureté de la congestion.

La figure suivante présente donc autant de points que de périodes de pointe du matin à gauche, de l'après-midi à droite correspondant au nombre total de kilomètres parcourus en abscisse et à la somme des temps totaux passés sur l'autoroute en ordonnée. On constate que le matin, il y a significativement plus en période non régulée (en vert) de points avec un temps perdu élevé et des kilomètres parcourus faibles, qu'en période régulée (en rouge). Notons au passage que la diminution des kilomètres parcourus lorsque les temps de parcours sont très élevés s'explique par le fait que probablement les usagers empruntent d'autres itinéraires. Une fois de plus, la conclusion en ce qui concerne la période de l'après-midi est qu'il y a moins de congestion que le matin, qu'il y ait ou non régulation, et que l'effet de la régulation n'est pas important.

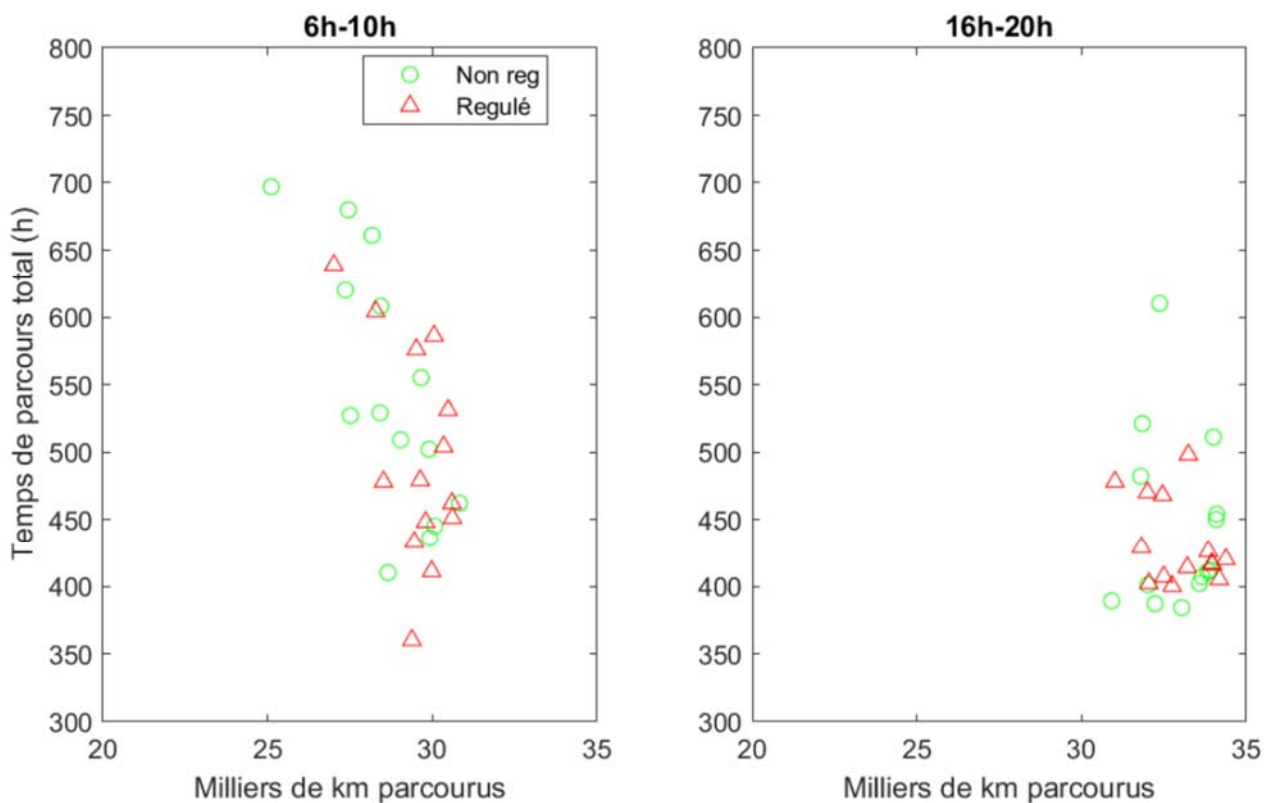


Figure 15 : valeurs des temps de parcours totaux et des kilomètres parcourus en heure de pointe du matin (à gauche), du soir (à droite). On constate que le matin, en période non régulée (en vert), il y a plus de points avec un temps perdu élevé et des kilomètres parcourus faibles, qu'en période régulée (en rouge). (Source : auteurs)

Ceci confirme l'efficacité de la régulation d'accès en période du matin. En effet, elle permet d'écouler un débit supérieur, tout en maintenant un temps perdu plus faible.

Conclusions

Nous avons vu que pendant les périodes de pointe du soir, la régulation d'accès ne permet pas de réduire une congestion déjà faible. Nous recommandons, pour maintenir une bonne image du dispositif auprès des usagers, de ne plus l'appliquer en fin de journée. Par contre, la régulation d'accès a un effet très positif en période de pointe du matin, comme nous l'avons démontré précédemment.

Le bénéfice global de la régulation d'accès sur un jour moyen peut être quantifié en un chiffre global en retranchant de l'impact sur le temps total passé sur la section courante les temps totaux passés sur les bretelles. On obtient en moyenne un gain de 44 heures de temps passé par tous les usagers par heure de pointe du matin, qu'il faut multiplier par le nombre de jours annuels pendant lesquels la régulation peut être activée.

Il y a 249 jours ouvrés par exemple en 2018, mais 80 d'entre eux correspondent aux congés scolaires, périodes moins congestionnées (absentes de notre échantillon). On peut donc estimer qu'il est possible de gagner de l'ordre de $44 \times 169 \cong 7\,500$ heures de temps de parcours pour l'ensemble des usagers en une année. Si on considère que la valorisation des temps de parcours peut être faite à partir de l'estimation du rapport Boiteux II (11 €/heure), on arrive à un total de plus de 80 000 € gagnés par an.

Au-delà de ce résultat très satisfaisant, cet article a également illustré l'application d'une méthode rigoureuse d'évaluation d'une stratégie de gestion du trafic.

Références

- Aliaga, F. (2019). Evaluation de la régulation d'accès sur la RN87 à Grenoble : méthode de traitement et analyse des données. Lyon: Cerema.
- Buisson, C., & Guyard, O. (2017). Indicateurs de congestion. *Rencontres de la Mobilité Intelligente, ATEC*.
- Certu. (2004). Evaluation des projets d'exploitation sur les principaux axes d'exploitation - Schéma directeur d'exploitation de la route - réseau de niveau 1. Lyon : Certu.
- Mansuy, P., Jacquet, D., & Buisson, C. (2017). Mise en oeuvre de la régulation d'accès sur la rocade sud de Grenoble. *Rencontres de la Mobilité Intelligente, ATEC, Montrouge*.
- Papageorgiou, M., Hadj-Salem, H., & Blosseville, J.-M. (1991). ALINEA: A local feedback control law for on-ramp metering. *Transportation Research Record*, 1320, 58-64.