Mise en place d'une régulation des vitesses sur la rocade est (N346) de Lyon

Contexte

La rocade est de Lyon (N346), longue de 12 kilomètres, est un axe structurant du réseau routier national et s'insère dans le maillage des voies structurantes d'agglomération de Lyon.

Cette rocade est un axe majeur et stratégique dans la distribution des trafics à l'échelle de l'agglomération, que ce soit pour les trafics de transit nord-sud et est-ouest ou pour le trafic local.

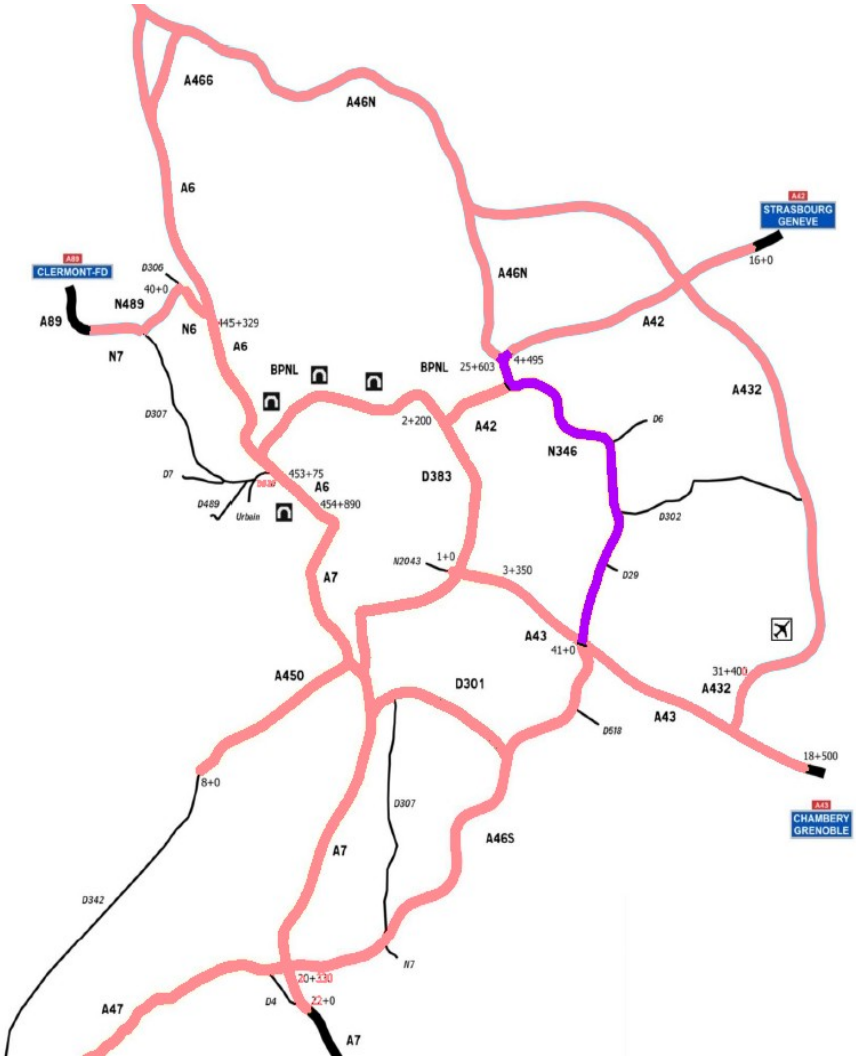


Illustration : rocade est de Lyon ou RN346 (en violet) dans le réseau des VSA de Lyon

Elle supporte ainsi ce double trafic de par sa position géographique à l'interface entre l'urbain et la rase campagne. La conséquence est une intensité de trafic importante tout au long de l'année, avec des heures de pointes journalières pour les VL et pour les PL.
Les nœuds au nord (nœud des Iles avec A42 et A46N) et au sud (nœud de Manissieux avec A43 et A46S) sont bien sûr des lieux de congestions récurrentes, mais il faut noter que certains diffuseurs,

ainsi qu'une rampe où les différentiels de vitesses entre poids lourds sont importants, sont également sources de congestion.

Toutes ces caractéristiques font de la rocade est un axe susceptible d'être régulé par des mesures de gestion dynamique du trafic.
De surcroît, le projet de grand stade de l'Olympique Lyonnais, enceinte qui a notamment été retenue pour accueillir l'Euro 2016 à Lyon est venu ajouter une dimension supplémentaire dans la stratégie d'exploitation du trafic de la rocade est. En effet, ce stade est situé à proximité immédiate de la rocade et le projet de construction s'est accompagné de l'aménagement d'un nouveau diffuseur.
Les études préalables du projet de grand stade et du diffuseur, relatives au trafic, ont montré qu'il était nécessaire de prévoir une batterie de mesures de gestion de trafic afin de minimiser les effets négatifs du cumul des trafics liés d'une part à l'affluence au stade et d'autre part au trafic journalier domicile-travail. Ces études ont donc confirmé le réel besoin de mettre en place une régulation dynamique de la vitesse.

Le projet de régulation dynamique des vitesses

La DIR Centre-Est a piloté en tant que maîtrise d'ouvrage déléguée la mise en place des équipements dynamiques nécessaires à la régulation et a ensuite travaillé en étroite collaboration avec le CEREMA pour élaborer et mettre en place un algorithme ad-hoc qui permette de répondre aux différentes stratégies de régulation des vitesses de l'exploitant.

L'affichage de la vitesse

Afin de faire naître le projet de régulation dynamique des vitesses, des équipements dynamiques ont été posés tout au long de la rocade est, dans les deux sens, et conformément à la réglementation sur la signalisation routière.
Celle-ci notamment impose que soient visible de l'usager de manière régulière et à chaque entrée sur le secteur régulé la vitesse réglementaire.
Hors activation de la régulation, la vitesse réglementaire sur la rocade est est de 90 km/h pour les VL et 80 km/h pour les PL de plus de 3,5 tonnes. Cette vitesse qui est plus restrictive que la vitesse fixée par le code de la route pour les routes à chaussées séparées, a été fixée en 2008 par le préfet du Rhône dans un souci de réduction des émissions de polluants et de CO2.

Le choix de la DIR en termes d'affichage des vitesses est d'afficher en continu la vitesse réglementaire, qu'elle corresponde à une vitesse de régulation dynamique activée ou à la vitesse nominale fixée hors régulation activée.
Ce choix a conduit à masquer (et non déposer) la signalisation fixe de limitation de vitesse ainsi qu'équiper chaque dispositif d'affichage de 2 pictogrammes lumineux. En effet, en situation non régulée, il faut être capable d'afficher le 90 VL et le 80 PL.
Ces dispositifs sont soit placés côte-à-côte au-dessus des voies de circulation, soit l'un sur l'autre en bretelle d'insertion :

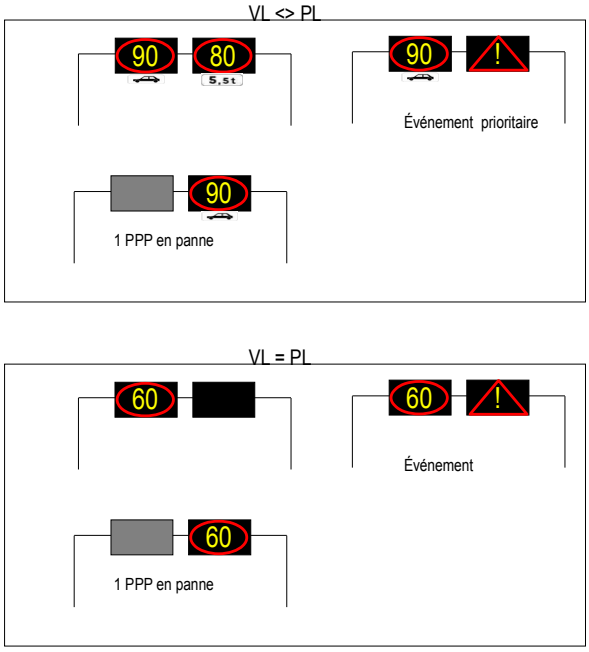
Illustration : Affichage de la vitesse au-dessus des voies

Illustration : Affichage de la vitesse en bretelle

Cette contrainte procure cependant l'avantage de pouvoir afficher un pictogramme « évènementiel » lorsque la vitesse devient régulée. En effet, par principe, dès lors que la vitesse des VL est diminuée, la vitesse des PL vaut celle des VL. Ainsi, on peut passer d'un affichage 90VL/80PL à un affichage 70/Accident par exemple.

Ces différentes possibilités d'affichage, et la prise en compte du mode dégradé ont nécessité d'imaginer différents scénarios et de choisir les priorités :
- vitesses VL et PL différentes et autre picto à afficher,
- vitesses VL et PL différentes et un affichage défectueux,
- vitesses VL et PL identiques et un autre pictogramme à afficher,

qui sont illustrés sur l'image suivante :



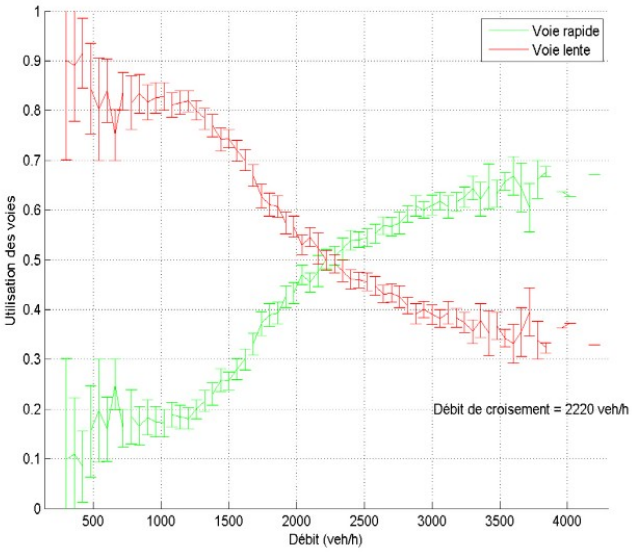
L'algorithme de régulation de vitesses

Avant de pouvoir afficher une vitesse, il est nécessaire de connaître la valeur la plus appropriée au regard des conditions de circulation. L'algorithme qui a été conçu traite plusieurs stratégies.

Stratégies de régulation

La construction de l'algorithme s'est faite selon plusieurs stratégies :

La première stratégie consiste à anticiper la formation de la congestion en observant la montée en charge du trafic : Cette stratégie repose sur la théorie selon laquelle les différentes voies d'une section ne se remplissent pas de manière homogène selon la densité de trafic et que la régulation de vitesse a pour effet de mieux répartir le trafic.
Cette théorie éprouvée sur des autoroutes de rase campagne n'a toutefois pas encore été validée sur des sections plus urbaines, comme la rocade est l'est, où les échangeurs rapprochés limitent la possibilité de répartition du trafic entre voie lente et voie rapide.
L'illustration suivante montre des débits observés, hors régulation, sur chacune des deux voies de la rocade est en un point donné. On constate effectivement qu'en situation de débit important, la voie rapide se charge plus que la voie lente.

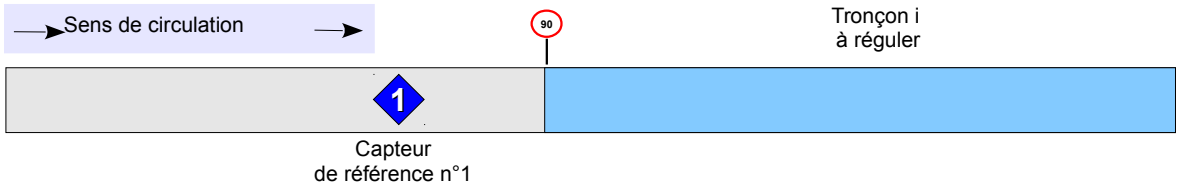


Cette stratégie de prévention de la congestion doit donc tenter de rapprocher les deux courbes dans les zones de débits importants. Elle est mise en œuvre en comparant les débits observés (qui arrivent en amont) avec le débit seuil dit « de croisement », c'est-à-dire le point de croisement des deux courbes illustrées ci-avant (2220 dans l'illustration) et d'activer à partir de ce seuil la régulation.

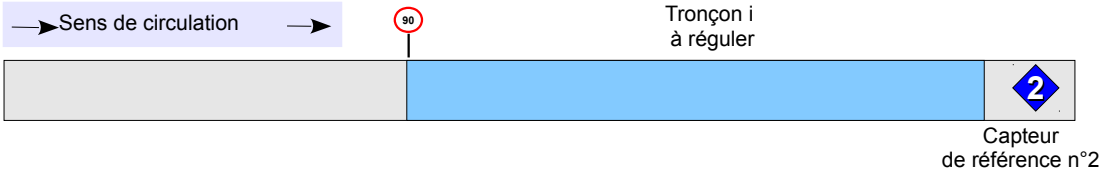
La deuxième stratégie consiste cette fois à faire ralentir les usagers qui vont rencontrer une zone dangereuse (une queue de bouchon, un accident etc.) :
- soit de manière automatique avec la détection du SAGT des queues de bouchon,
- soit de manière manuelle avec l'opérateur qui a connaissance des évènements sur son réseau.

Les détecteurs :

Les deux stratégies nécessitent des capteurs de trafic. Dans le cadre de la première stratégie, il est en effet nécessaire d'observer en amont des tronçons à réguler, afin d'anticiper une montée en charge du trafic. On définit ainsi un capteur de référence pour un tronçon donné, qui est placé en amont.



Dans le cadre de la deuxième stratégie, il est nécessaire d'observer en aval des tronçons afin de détecter toute formation de congestion qui nécessiterait de faire ralentir les usagers en approche. On définit ainsi un capteur de référence pour un tronçon donné, qui est placé en aval.



Toutes ces stratégies nécessitent de découper chaque zone (indépendante) de régulation en tronçons. Une zone correspond dans ce projet à un sens de circulation intégral sur la rocade et chacune des deux zones ainsi définies est découpée en 5 tronçons.
Le trafic sur chaque tronçon est normalement homogène.
A chaque tronçon, il convient de définir le capteur de référence pour la 1ère stratégie et le capteur de référence pour la 2e stratégie. En outre, la prise en compte du mode dégradé conduit à définir des capteurs de substitution en cas de défaillance d'un capteur de référence.

Fonctionnement des algorithmes

La première stratégie donne naissance à un premier algorithme « élémentaire » qui propose une vitesse en fonction du trafic en approche de la section régulée.
Le principe est de diminuer la vitesse des usagers lorsque le débit en amont dépasse le seuil dit « de déclenchement » qui est fixé à l'avance. Ce seuil est choisi comme étant le débit de croisement (voir plus haut).
Une condition supplémentaire proposée étant que la vitesse observée sur le tronçon n'est pas déjà passée sous la vitesse critique en-deça de laquelle le trafic est déjà congestionné.

La manière de diminuer la vitesse dépend de l'intensité du trafic. Si le débit amont a dépassé le seuil de déclenchement mais reste en-deça de 90 % de la capacité du tronçon, alors on ne baisse que de 20 km/h (soit 70 km/h). En revanche, si le débit amont a en plus dépasse les 90 % de la capacité, alors on diminue de 30 km/h la vitesse (soit 60 km/h).

La deuxième stratégie donne naissance à un deuxième algorithme « élémentaire » qui détermine simplement sur les capteurs de référence si la vitesse observée est en dessous de la vitesse critique, qui correspond à une situation de congestion.
Dans l'affirmative, l'algorithme élémentaire propose un abaissement de la vitesse pour les usagers qui vont arriver sur le lieu de la congestion. La vitesse prescrite correspond à la vitesse la plus proche de celle observée tout en restant supérieure.

A chaque tronçon et à chaque pas de temps, les deux algorithmes élémentaires proposent donc

chacun une vitesse appropriée.
Par ailleurs, l'opérateur peut également proposer une vitesse sur un tronçon donné, en fonction des évènements dont il a connaissance. Par extension, on parle ici d'un 3e algorithme élémentaire.

L'algorithme central du système de régulation considère donc la sortie de ces 3 algorithmes pour chaque tronçon, et retient la vitesse la plus basse.
Cependant, pour éviter de passer d'un tronçon à 90 km/h à un tronçon limité à 50 km/h par exemple, ce qui n'est en général pas permis par la réglementation (les pas de diminution doivent rester inférieur ou égal à 20 km/h maximum, sauf situation d'urgence), cet algorithme central analyse également le déroulé des vitesses selon le sens de circulation et recale les vitesses proposées par les algorithmes élémentaires pour respecter le principe du pas de 20 km/h.
Dans l'exemple cité, la vitesse de 90 km/h proposée par les algorithmes élémentaires deviendra en sortie une vitesse de 70 km/h, afin de pouvoir passer à 50 km/h en aval.

Autres paramètres de l'algorithme

D'autres paramètres sont à définir pour profiter pleinement des algorithmes tout en restant compréhensible par les usagers.
- critère d'atteinte des seuils : le système considère que l'activation d'une régulation n'est envisageable qu'à la condition que le seuil est atteint pour l'algorithme élémentaire n°1 ou le n°2 sur plusieurs données successives. Par exemple, si un détecteur observe un débit amont au-delà du débit de croisement, il faut qu'il l'observe sur 3 données successives.
Si les données sont des données minutes, le critère impose donc d'attendre 3 minutes avant de déclencher la régulation.
Si les données sont des données 6 minutes, le critère impose donc d'attendre 18 minutes avant de déclencher la régulation.
Ce critère vaut également pour la désactivation de la régulation.

3 autres temporisations peuvent être fixées :
- durée minimale de régulation sur un tronçon
- durée minimale de désactivation entre deux périodes d'activation sur un tronçon
- durée minimale d'affichage d'une vitesse sur un même panneau
Ces durées ont pour but de stabiliser la régulation aux yeux des usagers et éviter que les changements d'état des panneaux ne soient trop intempestifs.

On constate avec ces paramètres que le choix de la donnée à analyser a toute son importance.
Les systèmes informatiques à Lyon permettent de traiter une donnée 6 minutes ou une donnée 1 minute. La première a l'avantage de proposer des valeurs de débit et vitesse lissées et donc représentent un état du trafic fiable mais, on le voit dans l'exemple, elle a le désavantage de ne pas être assez réactive.
A l'inverse, la donnée une minute est très réactive, mais aussi très variable.

Après quelques essais, le choix s'est porté vers une 3e solution : la donnée 6 minute glissante.
A partir des données une minute, une valeur moyennée sur les 6 dernières valeurs minute est calculée et analysée. Cette valeur 6 minute est ainsi calculée toutes les minutes (ou bien toutes les 2, 3 minutes ...) et permet de bénéficier des avantages des deux types de données.

Amélioration apportée au module de régulation de vitesses

Bien que des tests ont été effectuées sur des données historisées afin de vérifier la bonne tenue de l'algorithme de régulation, à la mise en service de ce module, des dysfonctionnements ont été décelés.
Ces dysfonctionnements ont été l'objet d'un stage qui les a dans un premier temps recensés :

1) saturation du serveur informatique du PC
2) retard dans l'activation de la régulation
3) temps de désactivation trop long
4) vitesses non pertinentes
5) remontées de queue de bouchon sur bretelles non traitées

Le premier dysfonctionnement (1), qui a été résolu depuis, a expliqué en partie les dysfonctionnements relatifs aux retards dans l'activation ou désactivation de la régulation (2 et 3). Notamment, il a été constaté que lorsque la station de comptage émettait une donnée 6 minutes, celle-ci était traitée dans le module de régulation avec un retard de 6 minutes 40 secondes.

L'analyse a permis également de mettre en évidence le mauvais codage (réalisé par un prestataire) de l'algorithme au niveau des systèmes informatiques, qui du coup proposait des vitesses (image de gauche) non conformes à ce que l'algorithme devait proposer en théorie (image de droite).

Tronçon	1	2	3	4	5
07:12:40	90	90	90	90	90
07:18:40	70	70	70	70	70
07:24:40	70	70	70	70	70
07:30:40	70	70	70	70	70
07:36:40	70	70	70	70	70
07:42:40	70	70	70	90	70
07:48:40	70	70	70	90	70
07:54:40	70	70	70	90	70
08:00:40	70	70	80	90	70
08:06:40	70	70	80	90	70
08:12:41	70	70	80	90	70
08:18:40	70	70	80	90	70
08:24:40	70	70	80	90	70
08:30:40	70	70	80	90	70
08:36:40	70	70	80	90	70
08:48:40	70	70	80	90	70
08:54:40	70	70	80	90	70

Tronçon	1	2	3	4	5
[6 54 40]	90	90	90	90	90
[7 0 40]	70	70	70	70	70
[7 6 40]	70	70	70	70	70
[7 12 40]	70	70	70	70	70
[7 18 40]	70	70	70	70	70
[7 24 40]	70	70	60	70	70
[7 30 40]	70	60	70	70	70
[7 36 40]	70	70	60	60	70
[7 42 40]	70	80	80	60	70
[7 48 40]	70	70	80	60	60
[7 54 40]	70	80	80	60	60
[8 0 40]	70	80	80	70	70
[8 6 40]	70	70	80	70	70
[8 12 40]	70	70	80	70	70
[8 18 40]	70	80	90	70	70
[8 24 40]	70	70	80	60	70
[8 30 40]	70	70	70	50	70
[8 36 40]	70	70	80	80	70
[8 42 40]	70	80	80	90	70
[8 48 40]	70	80	90	90	70
[8 54 40]	70	80	90	90	70

Enfin certains dysfonctionnements ont également été expliqués par les paramètres associés à l'algorithme lui-même :

a. Algorithme élémentaire n°1 : l'algorithme élémentaire n°1 se base sur les débits et la vitesse constatés pour l'activation ou la désactivation de celui-ci.
En particulier, pour être désactivé, l'algorithme élémentaire doit observer que le débit est redevenu faible, mais également que les vitesses pratiquées sont redevenues supérieures à la vitesse critique. Or, précisément l'activation de cet algorithme élémentaire provoque la plupart du temps un affichage d'une vitesse inférieure à la vitesse critique.
Par exemple, la vitesse critique est de 74 km/h et l'algorithme élémentaire a imposé, en raison du débit, une vitesse à 70 km/h. Lorsque le débit est redevenu faible, il a fallu attendre que les vitesses

des usagers repasse au-dessus de 74 km/h alors qu'ils étaient contraints de rouler à 70 km/h.
Le critère vitesse pour la désactivation de l'algorithme élémentaire n°1 a donc été supprimé.

b. algorithme élémentaire n°2 : cet algorithme se base sur l'observation des vitesses au niveau des capteurs de référence. Cependant, les tronçons étant parfois long, une congestion pouvait naître sur un tronçon et s'étendre sans qu'elle n'atteigne rapidement le capteur de référence.
L'évolution proposée a donc consisté à utiliser tous les capteurs disponibles sur la section et non uniquement les capteurs de référence. Il est même tout à fait envisageable d'utiliser un capteur sur bretelle (si celui-ci remonte la donnée vitesse) pour prévenir une congestion qui remonte sur section courante (voir « évolution du module »)

Evolution du système de régulation

La DIR Centre-Est a pour ambition de développer un module de régulation de vitesse au sein du SAGT (Système d'Aide à la Gestion du Trafic) qu'elle utilise et qui pourra à terme être utilisé par d'autres gestionnaires.
Sur le périmètre de la DIR Centre-Est, les projets de régulation de vitesse à Saint Etienne et Chambéry profiteront de ce module.

Ce module, qui prend en compte les progrès réalisés sur l'algorithme pendant la phase de déploiement de la régulation sur la rocade est, doit également tenir compte d'autres besoins.

Outre le besoin qui a été exprimé sur la rocade est précédemment et qui a été ré-affirmé pour la régulation des voies rapides de Chambéry, la protection d'une remontée de congestion d'une bretelle, les autres besoins exprimés sont :
- le développement d'une interface régulation de vitesse/régulation d'accès pour les sites qui feraient fonctionner les deux régulations de manière concomitante,
- la définition d'une interaction entre la régulation de vitesse et un module de supervision d'un tunnel, si celui-ci possède ses propres scénarios de vitesses,
- la définition d'une interaction entre un évènement saisi par un opérateur et une proposition de vitesse ad-hoc sur cet évènementiel.

Orateur

Sylvain TROUBETZKY

EXPERIENCE PROFESSIONNELLE

Depuis 2012 DIR Centre-Est – Chef de la Cellule Exploitation et Gestion du Trafic

Responsable de la Cellule Exploitation et Gestion du Trafic

- Elaboration et contrôle des politiques de signalisation directionnelle, gestion de crise, viabilité hivernale, information usagers
- Pilotage et évaluation des projets d'exploitation (dynamique) du trafic
- Organisation du recueil de données de trafic, pilotage d'observatoires et d'études d'analyse
- Préparation à la gestion de crise

2006-2012 CETE de Lyon – Chargé d'études en exploitation de la route

- Réalisation de plans de gestion de trafic
- Réalisation de diagnostics trafic
- Assistance à maîtrise d'ouvrage sur les projets de gestion dynamique du trafic
- Réalisation d'évaluations a priori, a posteriori sur les projets de gestion du trafic
- Participation au PCI Régulation Dynamique des Réseaux de Transports

2003-2006 SETRA – Chargé d'études en entretien/exploitation de la route

- Animation du réseau technique Viabilité Hivernale
- Animation du réseau technique Signalisation Temporaire

DIPLOMES ET QUALIFICATIONS

2012 Qualification : Spécialiste dans le comité de domaine « Transports durables »
2003 Diplôme d'ingénieur des travaux publics de l'État (ENTPE)
- Voie d'Approfondissement « Transports »

Etienne HANS

EXPERIENCE PROFESSIONNELLE

Depuis 2015 CEREMA Dter Centre-Est – Chargé d'étude en ingénierie du trafic

- Réalisation d'études d'ingénierie sur la régulation du trafic

2012-2015 IFSTTAR-ENTPE - Doctorant au laboratoire d'Ingénierie Circulation Transport

- Thèse sur la « modélisation des lignes de bus pour la prévision temps réel et la régulation dynamique »

DIPLOMES ET QUALIFICATIONS

2015 Doctorat
2012 Diplôme d'ingénieur des travaux publics de l'État (ENTPE)
- Voie d'Approfondissement « Transports »