

Rapport d'étude

Évaluation a priori des mesures de régulation dynamique du trafic par des modèles simplifiés Revue des outils existants et recommandations



Page laissée blanche intentionnellement

Sommaire

Introduction.....	4
Chapitre 1 - Principales approches de l'évaluation a priori des mesures de gestion dynamique des trafics.....	5
1.1 Approche par domaine d'emploi.....	6
1.2 Evaluation des impacts par un outil de simulation dynamique.....	9
Chapitre 2 - Revue de la littérature sur l'usage des outils d'évaluation analytiques.....	15
2.1 Détails des outils cités précédemment.....	16
2.2 Résumé des enseignements bibliographiques.....	19
Chapitre 3 - Eléments méthodologiques pour la construction d'outils analytiques.....	21
3.1 Définition du système à évaluer	22
3.2 Définition du ou des indicateurs de performance.....	22
3.3 Identification des paramètres de l'indicateur de performance.....	23
3.4 Formulation analytique du ou des indicateurs de performance.....	23
3.5 Validation de l'outil d'évaluation analytique.....	23
Chapitre 4 - Premières tentatives d'application à deux dispositifs de régulation dynamique du trafic.....	25
4.1 La régulation dynamique de la vitesse.....	26
4.2 La régulation d'accès.....	29
Conclusion.....	32
Bibliographie.....	33

Introduction

Afin de réduire les phénomènes de congestion et les externalités liées à la présence de congestion sur un réseau, les gestionnaires de trafic ont de plus en plus recours aux dispositifs de régulation dynamique du trafic. Quatre types de régulation sont couramment employées : la régulation des vitesses, la régulation d'accès, la régulation des dépassements de poids lourds et la gestion dynamique des voies.

Si ces solutions d'exploitation répondent à un besoin opérationnel fort, aujourd'hui, les maîtres d'ouvrage et les gestionnaires de trafic ne disposent pas d'outils simples pour apprécier l'efficacité du choix de la régulation. Il y apparaît donc un besoin d'outils d'aide à la décision permettant d'évaluer l'opportunité de la mise en place d'une régulation dynamique sur un réseau et les gains qui peuvent en être attendus.

Pour évaluer la pertinence d'une mesure de régulation, la première étape est l'évaluation de l'opportunité d'une mesure au regard du diagnostic des conditions de trafic.

La seconde étape de l'évaluation est l'estimation des impacts de la mesure. Cette estimation peut se faire par un outil de simulation ou par l'application de calculs de gains (formules analytiques). Cette évaluation des impacts sur le trafic se prolonge en général par une monétarisation de l'ensemble des gains potentiels de la mesure de régulation (trafic, sécurité, bruit, polluants, *etc.*).

Les deux étapes permettent à la fois d'évaluer l'adéquation d'une mesure de gestion de trafic au diagnostic posé et de choisir la mesure la plus appropriée.

Pour l'estimation des impacts sur le trafic, l'utilisation d'outils de simulation dynamique du trafic se développe. Cependant, leur utilisation peut se révéler coûteuse en temps et incertaine quant aux capacités réelles des outils à reproduire fidèlement les mécanismes des mesures de régulation.

Une autre voie possible est le recours à des outils d'évaluation dits « analytiques » qui font appel à des modèles simplifiés (le terme « analytique » renvoie au fait que l'on cherche à simplifier la représentation des comportements en un nombre limité de formules). Ces outils intègrent des formules permettant de calculer des indicateurs d'évaluation. Ces formules nécessitent un nombre d'informations limité sur les caractéristiques de l'infrastructure d'une part, et sur le dispositif de régulation d'autre part. L'obtention de ces indicateurs est moins coûteuse en temps que l'utilisation de modèles de simulation dynamique.

Le premier objectif de cette étude est de faire la synthèse des modèles simplifiés ou des outils analytiques existants permettant d'étudier, a priori, l'impact sur les conditions de circulation de la mise en place d'un dispositif de régulation. Les quatre dispositifs de régulation dynamique étudiés sont les suivants : la régulation des vitesses, la régulation d'accès, la régulation des dépassements de poids lourds et la gestion dynamique des voies.

Cette étude vise également à fournir des conseils méthodologiques pour l'élaboration et l'utilisation d'outils d'évaluation analytique. Pour cela, l'étude propose une démarche pour l'élaboration d'outils d'évaluation analytique visant à évaluer l'impact d'un dispositif de régulation du trafic. A titre d'illustration, la démarche proposée est appliquée (partiellement) à deux dispositifs de régulation dynamique cités (régulation des vitesses et régulation d'accès), ce qui permet de proposer des pistes pour l'élaboration opérationnelle de tels outils d'évaluation.

Chapitre 1

Principales approches de l'évaluation a priori des mesures de gestion dynamique des trafics

Recourir à l'extension des réseaux n'est plus l'option privilégiée pour faire face à une demande de déplacement toujours croissante. Les gestionnaires de réseau recourent de plus en plus à des mesures de régulation dynamique de trafic leur permettant d'augmenter la capacité et ainsi retarder (ou éviter) l'apparition de congestion.

L'utilisation opérationnelle des dispositifs de régulation dynamique du trafic est récente. Les gestionnaires ont donc peu de recul sur leurs domaines d'emploi et les bénéfices à en attendre. C'est ainsi que les études d'opportunité sur la régulation dynamique du trafic se sont multipliées ces dernières années.

Pour analyser l'opportunité d'une mesure de régulation dynamique du trafic, on distingue schématiquement deux approches :

1 - l'une se basant simplement sur un certain nombre de *critères* pour qu'un site soit éligible à une mesure de régulation dynamique. C'est l'évaluation par *domaine d'emploi*, qui se réalise généralement durant les phases de réflexion amonts du projet.

2 - l'autre se basant sur une évaluation quantitative des impacts attendus de la mise en place d'une mesure de régulation dynamique. Ces impacts peuvent concerner un gain de capacité, une réduction du taux d'accident, une réduction du bruit et/ou des émissions de polluants, *etc.* Pour cela, on peut distinguer schématiquement les méthodes d'évaluation suivantes :

- l'évaluation par la simulation dynamique d'une part ;

- l'évaluation par « outils analytiques ». Ces outils analytiques sont basés sur des modèles simplifiés, éventuellement dynamiques, qui permettent d'estimer directement des indicateurs de trafics (temps de parcours, temps perdus, vitesses moyennes, *etc.*).

1.1 - Approche par domaine d'emploi

1.1.1 - Définition

Cette approche consiste à vérifier si un site répond effectivement aux domaines d'emploi de la mesure de régulation à mettre en place à partir d'une grille de critères, avant d'effectuer des évaluations plus poussées. Elle ne vise pas à estimer, a priori, le ou les impacts d'un dispositif de régulation : elles sont généralement utilisées pour cette approche est largement utilisée pour évaluer a priori l'opportunité de mettre en place un dispositif de régulation sur une infrastructure. En règle générale, les domaines d'emploi correspondent à des caractéristiques techniques, généralement des caractéristiques de l'infrastructure qui définissent l'offre routière (urbain / interurbain / autoroutier, le nombre de voies, *etc.*) et la demande routière (volume et composition du trafic, trafic pendulaire ou de grand départ, *etc.*).

L'évaluation par critère d'éligibilité consiste ainsi à traduire ces caractéristiques en critère(s) qualitatif(s) et/ou quantitatif(s) qui permettront de qualifier le site d'« éligible » ou de « non éligible » à la mise en place d'une mesure de régulation dynamique du trafic. Elle permet donc au gestionnaire d'appliquer un premier « filtre » avant de passer à une évaluation plus poussée la mesure de régulation.

1.1.2 - Quelques expériences antérieures

Actuellement, les critères pour l'étude d'opportunité des mesures de régulation ne sont pas encore établis de façon suffisamment étayée pour être utilisées de façon opérationnelle en France. La doctrine permettant d'évaluer l'opportunité d'une mesure de gestion dynamique du trafic se construit (*Cf.* : Régulation du trafic : Éléments sur les domaines de pertinence des principes mesures SETRA – PCI – RDRT – CETE de Lyon – juin 2012).

Aux États-Unis, le manuel « Freeway Management and operations, final report » propose une table à deux entrées permettant de faire le lien entre la stratégie de régulation et l'objectif de la régulation. Cette table permet de sélectionner la stratégie de régulation répondant aux attentes du gestionnaire.

Par exemple, quelle est la stratégie permettant à la fois une augmentation de la capacité et une réduction des risques de collision ? D'après cette table, dédier une voie aux poids lourds est une stratégie pertinente aux États-Unis.

Objectif	Améliorer la capacité	Réduire les accidents	Améliorer l'équité	Améliorer l'exploitation en conditions restreintes	Détourner vers d'autres itinéraires ou modifier les heures de départ	Améliorer le débit des voies réservées (HOV)	Préserver les chaussées
Stratégie							
Voies pour les poids lourds (~IDPL)	√	√					√
Voies dédiées aux véhicules en fonction du taux d'occupation (HOV)						√	
Usage de la bande d'arrêt d'urgence	√						
Voies en contresens						√	
Voies réversibles	√			√			
Régulation d'accès	√		√			√	
Régulation de vitesse	√	√					
Contrôle des zones de travaux		√		√	√		
Péage					√		
Péage de congestion					√		

Tableau 1 : liens entre stratégies de gestion de trafic et objectifs

Objectif							
Stratégie	Améliorer la capacité	Réduire les accidents	Améliorer l'équité	Améliorer l'exploitation en conditions restreintes	Détourner vers d'autres itinéraires ou modifier les heures de départ	Améliorer le débit des voies réservées (HOV)	réserver les chaussées
Voies pour les poids lourds (~IDPL)	√	√					√
Voies dédiées aux véhicules en fonction du taux d'occupation (HOV)						√	
Usage de la bande d'arrêt d'urgence	√						
Voies en contresens						√	
Voies réversibles	√			√			
Régulation d'accès	√		√			√	
Régulation de vitesse	√	√					
Contrôle des zones de travaux		√		√	√		
Péage					√		
Péage de congestion					√		

Utilisation du tableau pour éliminer les stratégies qui ne correspondent pas aux objectifs du projet

Si cette approche préliminaire permet de sélectionner ou d'exclure telle ou telle mesure de gestion dynamique de trafic sur un réseau donné, en revanche, elle ne permet pas de quantifier, a priori, les impacts liés à la mise en place d'un dispositif de régulation dynamique du trafic.

1.1.3 - Avantages/Limites

Le tableau suivant résume les avantages et les limites d'une évaluation par critères d'éligibilité.

Avantages	Limites
<p>→ La méthode est applicable à n'importe quel site.</p> <p>→ Les résultats l'étude d'éligibilité sont obtenus rapidement.</p> <p>→ Les résultats sont facilement interprétables et permettent d'orienter l'évaluation des impacts dans une étude plus approfondie.</p>	<p>→ La méthode conclut simplement par un "Oui le site est éligible" ou un "Non le site n'est pas éligible".</p> <p>→ La méthode prend généralement en compte des caractéristiques très agrégées dans le temps (ex : TMJA) alors que les dispositifs de régulation mettent en jeu des caractéristiques dynamiques du trafic (ex : dynamique de la demande). L'éligibilité ne garantie donc pas que la mesure de régulation soit réellement efficace.</p> <p>→ La méthode ne permet pas une estimation des bénéfices d'une mesure de régulation dynamique.</p>

1.2 - Evaluation des impacts par un outil de simulation dynamique

1.2.1 - Définition

Cette méthode d'évaluation consiste à utiliser un outil de simulation dynamique pour juger de la pertinence d'un dispositif de régulation.

Pour mener une étude complète en simulation dynamique, il est nécessaire de recueillir de nombreuses informations au préalable :

- *la demande de trafic*. Si la période d'étude est une période de pointe, il est nécessaire d'avoir l'allure exacte de la dynamique (d'augmentation puis de diminution) de la demande dans le temps. Ces informations sont complétées par des informations relatives à la composition du trafic et aux caractéristiques des différentes classes de véhicules (longueur des véhicules, vitesses libres, etc.). Ces éléments permettent de reconstruire les matrices OD par type de véhicules sur l'ensemble du réseau simulé et régulé ;
- *le profil géométrique exact de l'infrastructure*. Il s'agit ici de renseigner les largeurs de voies, les vitesses maximales autorisées, les longueurs de bretelles d'entrée et de sortie, les rampes, les règles de priorité aux intersection, etc ;
- *des informations complémentaires sur l'offre de trafic*. Ces informations correspondent généralement aux cycles des feux présents sur le réseau, les capacités de barrières de péage, etc ;
- *des paramètres de trafic relatifs aux comportements de conduite sur le réseau*. Cela concerne principalement les comportements de poursuite, les comportements de changement de voie et les comportements d'insertion.

Une fois ces informations renseignées dans l'outil de simulation dynamique, une phase de calage est nécessaire. Cette phase consiste à définir les valeur de l'ensemble des paramètres d'entrée du modèle de simulation dynamique. Ces paramètres sont très nombreux et nombre d'entre-eux sont des paramètres « stochastiques », c'est-à-dire qu'ils sont tirés aléatoirement. Les paramètres de ces distribution sont là-encore définie par l'utilisateur. A titre d'exemple, le tableau qui suit donne en exemple un sous-ensemble des paramètres qu'il est nécessaire de caler :

Type de paramètre	Nom du paramètre	Valeur du paramètre
Paramètres de véhicule	Vitesse libre	Distribué
	Longueur	Distribué
	Temps de réaction	Distribué ou non
	Accélération	Distribué
Paramètres de section	Longueur	Exacte
	Largeur	Exacte
	Déclivité	Exacte
	Vitesse réglementaire	Exacte
	Feu	Durées de vert, rouge, jaune
Comportement d'insertion	Distance de visualisation	Distribué ou non
	Temps minimum d'insertion	Distribué ou non
Changement de voie	Paramètres de confort sur une voie	Distribué ou non
	Paramètres de condition de dépassement	Distribué ou non
	Paramètres de condition de rabattement	Distribué ou non
	Paramètres de changement de voie pour destination	Distribué ou non
...

La liste de ces paramètres ci-dessus n'est pas exhaustive et elle sert avant tout à se rendre compte de la somme et de la finesse des paramètres à ajuster pour que le modèle soit considéré comme valide. Dans ce tableau, lorsqu'un paramètre est « distribué », cela signifie qu'il comporte, en fait 2, 3 ou 4 sous-paramètres décrivant sa distribution (type de distribution ,moyenne, écart-type, valeur minimum, valeur maximum, *etc.*) et qu'au cours de la simulation, les valeurs de ces paramètres sont tirés aléatoirement au sein d'une distribution. Ainsi, d'une réplique à l'autre, les résultats de simulation peuvent être différents (effets stochastiques) et il est nécessaire de faire au minimum 10 répliques pour estimer correctement la réponse moyenne du modèle.

Une fois le modèle correctement calé, l'implémentation du dispositif de régulation dans le modèle permet d'estimer des indicateurs dynamiques de trafic tels que le temps de parcours, les longueurs de remontée de file, les durées de congestion, etc. Ainsi, sur la base de ces indicateurs, on peut comparer les résultats de simulation obtenus avec et sans la mise en place d'un dispositif de régulation dynamique et estimer ainsi les impacts d'un dispositif de régulation.

Il est très important de noter qu'aujourd'hui, aucun modèle de simulation dynamique de trafic n'a été validé pour reproduire les effets des dispositifs de régulation. La principale raison à cela est que les effets des dispositifs de régulation dynamique sur les comportements de conduite ne sont pas tous connus. Ces sujets font actuellement l'objet de nombreuses recherches en France et dans le monde, du fait du besoin croissant d'optimiser l'usage des infrastructures existantes.

1.2.2 - Expériences antérieures

Ces dernières années, l'usage des outils de simulation dynamique pour l'évaluation de projet d'infrastructure s'est largement développé. Certains gestionnaires ont été amenés à étudier la possibilité de recourir à ces outils de simulation dynamique pour reproduire les effets des dispositifs de régulation. Ce fut notamment la démarche employée pour l'évaluation, a priori, des bénéfices du dispositif de régulation des vitesses sur le sillon Lorrain (A31).

L'évaluation a priori par un outil de simulation dynamique a été menée par le CETE de Lyon. Les conclusions de cette étude invoquent la prudence à garder vis-à-vis de l'usage d'un outil de simulation dynamique pour l'évaluation d'une mesure de régulation des vitesses. En effet, aujourd'hui, aucun outil commercial de simulation dynamique du trafic n'est validé pour reproduire les effets des dispositifs de régulation. Ainsi, la finesse de représentation dans les résultats de modélisation ne garantit pas la validité des résultats obtenus.

Le Réseau Scientifique et Technique du Ministère chargé des transports a mené en 2011 une étude sur les capacités des modèles de simulation dynamique à reproduire les effets des dispositifs de régulation dynamique. Cette étude conclut la limite de validité de certains modèles, notamment du fait qu'ils n'ont pas été développés pour reproduire les impacts des dispositifs de régulation sur les caractéristiques de l'écoulement.

1.2.3 - Avantages/Limites

Le tableau suivant présente les avantages et limites de l'approche d'évaluation par le recours aux modèles de simulation dynamique.

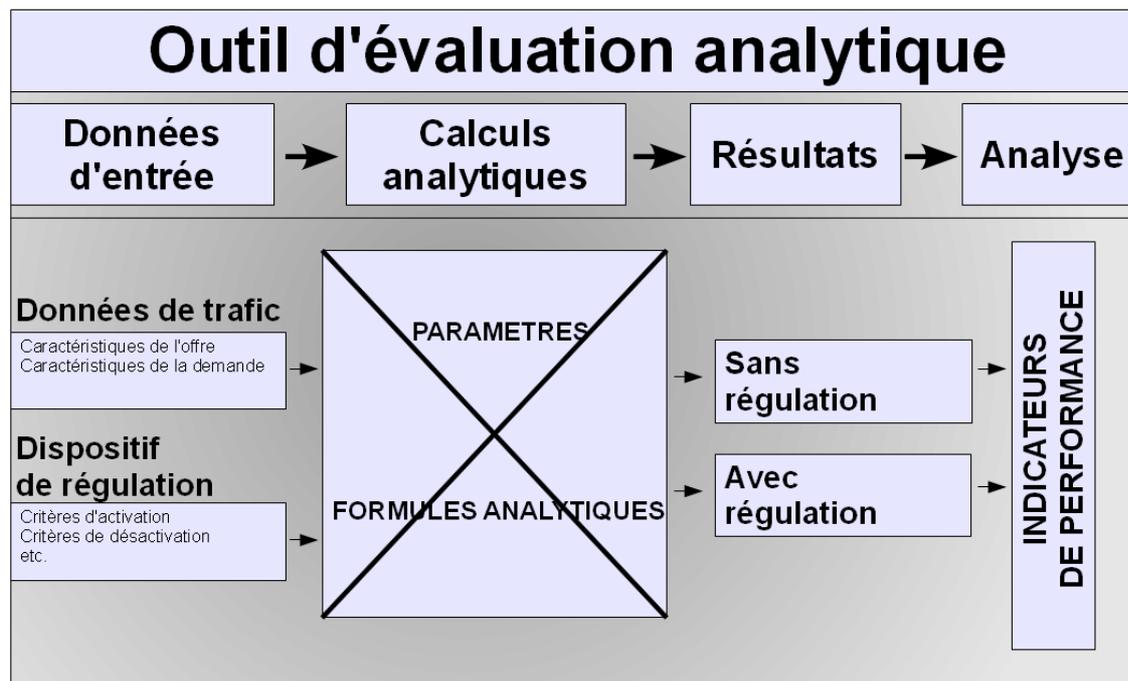
Avantages	Limites
<p>→ La méthode permet de tenir compte des caractéristiques fines du site candidat à la mesure de régulation (profil géométrique, <i>etc.</i>)</p>	<p>→ La méthode présente un coût élevé (recueil de données, calage du modèle, temps d'implémentation des différents scénarios, analyse des résultats, <i>etc.</i>)</p>
<p>→ La méthode permet de tenir en compte la dynamique de la demande en trafic, de sa composition, de ses caractéristiques fines</p>	<p>→ La méthode nécessite en particulier l'obtention de nombreuses données sur les caractéristiques fines de l'offre et de la demande sur le réseau étudié</p>
<p>→ Les résultats de simulation peuvent être visualisés directement par une vidéo (qualité pédagogique et commerciale)</p>	<p>→ Les modèles de simulation dynamique actuels ne sont actuellement pas particulièrement validés pour reproduire les effets des dispositifs de régulation dynamique</p>
<p>→ Tous types d'indicateurs sont a priori disponibles.</p>	

1.2.4 - L'approche d'évaluation par les modèles simplifiés ou outils analytiques

1.2.4.1 - Définition

Une méthode d'évaluation analytique ou par modèles simplifiés repose sur des règles de calculs simplifiées et déterministes. L'approche analytique est une approche courante dans le domaine de recherche, notamment pour tester les caractéristiques de modèles. On entend ici par « analytique » le fait que les calculs de l'outil sont basés sur des formules déterministes, ne présentant aucune variable stochastique.

Pour des études opérationnelles, cette approche est peu utilisée. Idéalement, cet outil présente un nombre de paramètres d'entrée limité et permet le calcul d'un ou plusieurs indicateurs de performance. Le schéma qui suit décrit les principaux modules constituant un outil analytique.



Le cœur de l'outil est constitué de formules dites « analytiques » (signifiant qu'elle donne une réponse exacte et déterministe). Ces formules sont paramétrables afin prendre en compte les caractéristiques d'offre et de demande sur le site à évaluer. La définition de chaque paramètre doit être explicite, et doivent être facilement quantifiables.

Ces paramètres doivent être assez nombreux pour tenir compte des particularités du site à étudier et de la complexité des phénomènes engagés. Pour autant, le nombre de paramètres doit être limité afin que la procédure de calage de chaque formule ne devienne pas trop fastidieuse. Un des enjeux est donc de trouver cet équilibre sur le nombre de paramètres. A titre d'exemple, le tableau qui suit propose une liste de paramètre restreinte aux paramètres essentiels à l'estimation d'une file d'attente à un feu tricolore.

Paramètres d'offre	Paramètres de demande
<ul style="list-style-type: none"> vitesse maximale autorisée nombre de voies Capacité Cycle de feu 	<ul style="list-style-type: none"> chronique de demande de trafic composition du trafic vitesse libre (par classe) longueur des véhicules

La simple application d'une méthode de débit cumulé (parfois appelée « méthode des stocks ») permet de calculer directement les dates d'apparition de file d'attente, le nombre de véhicules stockés, les dates de disparition de file d'attente, les vitesses moyennes, les temps de parcours, les retards, *etc.*

On peut difficilement imaginer l'existence d'un outil unique permettant d'évaluer à la fois la régulation des vitesses, la régulation d'accès, l'interdiction de dépassement de PL et la gestion dynamique des voies. Cela s'explique par le fait que chaque mesure agit de manière particulière sur l'écoulement. Par conséquent, les données d'entrée, les paramètres et les formulations analytiques vont être différentes d'une mesure de trafic à l'autre. On s'oriente donc vers un outil par mesure de gestion dynamique de trafic.

1.2.4.2 - Avantages/Limites

Le tableau suivant présente les principaux avantages et limites de l'approche par les modèles simplifiés ou analytiques.

Avantages	Limites
<ul style="list-style-type: none"> → La méthode est facile à implémenter. → La méthode permet de quantifier des indicateurs de performance pouvant servir à l'évaluation économique du système. → Les résultats sont obtenus rapidement (et à moindre coût). 	<ul style="list-style-type: none"> → La méthode nécessite d'avoir une compréhension fine de la mesure de régulation à évaluer et de maîtriser la théorie du trafic pour « construire » l'outil adapté à la section considérée. → Peu d'expérience de cette méthode d'évaluation (cf. la section recensant les expériences d'évaluation analytique sur les dispositifs de régulation). → L'évaluation analytique, si elle est mal utilisée, peu mener à des résultats grossièrement faux.

1.2.5 - Eléments de Synthèse

Il existe différentes familles d'outils pour évaluer l'opportunité d'une mesure de régulation dynamique du trafic. Le choix de l'outil d'évaluation sera alors dicté par le croisement des besoins de l'évaluation et des avantages/inconvénients de chaque méthode d'évaluation.

L'évaluation par domaines d'emploi est un outil qualitatif plutôt pertinent en amont des réflexions. Cet outil permet d'éliminer les sites qui ne respectent pas les critères élémentaires d'éligibilité à telle ou telle régulation. En revanche, cet outil ne suffit pas à évaluer les impacts d'une mesure de régulation dynamique. Les outils d'évaluation basés sur la simulation dynamique et sur des formulations analytiques visent à évaluer plus précisément les impacts.

On peut noter ici qu'un outil d'évaluation analytique peut être basé sur la modélisation. Dans le cas d'une évaluation de gestion de trafic, un outil de modélisation macroscopique basé sur un calcul de courbe de débit cumulé est un outil analytique.

Chapitre 2

Revue de la littérature sur l'usage des outils d'évaluation analytiques

2.1 - Détails des outils cités précédemment

2.1.1 - Saint-Nazaire – Gestion dynamique des voies

Une évaluation analytique a été proposée dans le cadre de l'évaluation a priori de la mise en place de la gestion dynamique des voies du pont de Saint-Nazaire. Cette évaluation analytique repose sur l'hypothèse d'une relation entre temps de parcours, le temps de parcours à vide et le « degré de saturation des voies ». Pour estimer cette relation, la méthode repose sur des formules « BPR » liant le temps de parcours au débit et proposé par le « Bureau of Public Roads » en 1964 (Etats-Unis) :

$$t = t_0 \left(1 + a \left(\frac{V}{V_{max} \cdot b} \right)^c \right) \quad \text{où } a, b \text{ et } c \text{ sont des paramètres à caler.}$$

Malheureusement, l'application de ces formules reste limitée dans la mesure où elles ne prennent pas en compte les dynamiques spatiales et temporelles des phénomènes de congestions, indispensables pour correctement quantifier des indicateurs de temps de parcours.

2.1.2 - OPTRA – mesure de régulation d'accès

OPTRA est un outil d'aide à la gestion de trafic visant à optimiser les perturbations des zones de travaux sur le trafic. Cet outil de simulation se rapproche d'un outil analytique. Il est basé sur la méthode « des stocks ». Cet outil est moins gourmand qu'un outil de simulation microscopique car il nécessite moins de données d'entrée et il est plus rapide à mettre en œuvre.

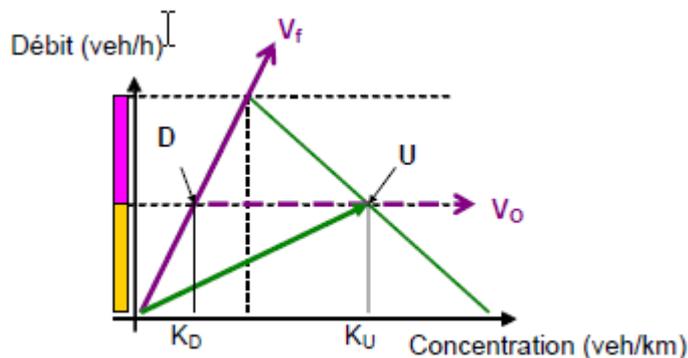
Cet outil a été adapté, notamment pour mieux modéliser les insertions. Cette adaptation est cruciale pour correctement reproduire le fonctionnement d'un convergent. Ce module n'est que brièvement abordé et sa description ne permet donc pas d'assurer la reproduction correcte des comportements d'insertion dans l'outil.

L'estimation des impacts attendus par la régulation d'accès se base sur l'hypothèse d'un gain de capacité en aval du convergent sur la section principale. D'une part, il semble que la présence d'un gain de capacité dépende largement de la configuration de la bretelle d'accès (qui conditionne les vitesses d'insertion des véhicules). D'autre part, d'après les auteurs de l'étude, un gain de capacité de 3% a été arbitrairement choisi, car il représenterait le meilleur compromis entre une hausse de capacité en aval du convergent sur la section principale, sans affecter le fonctionnement des convergents présents plus loin en aval sur le réseau ». Cette hypothèse mériterait d'être confrontée aux résultats de recherche récents (cf. Leclercq 2011, Duret, 2010).

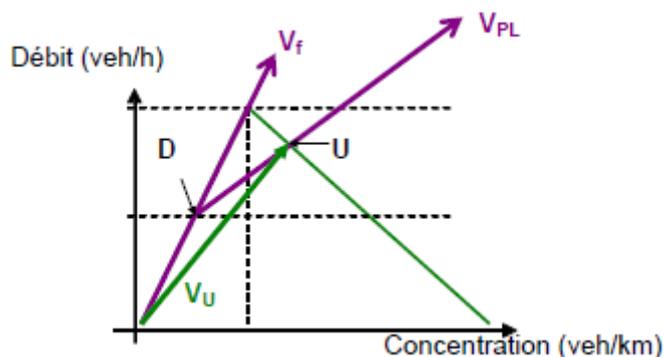
2.1.3 - Mesure d'interdiction de dépassement de PL

Le laboratoire LICIT (Ch. Buisson et J. Laval) de l'IFSTTAR a proposé en 2007 un outil d'évaluation analytique d'une mesure d'IDPL. Cet outil permet de calculer les éventuels bénéfices d'une mise en place de l'IDPL sur les sections d'autoroutes multivoies présentant une rampe en section courante.

Pour l'élaboration de cet outil, les auteurs se reposent sur la théorie des abstractions mobiles que sont les PL. Pour cela, il décrivent le fonctionnement d'une section à 2 voies par un simple diagramme fondamental reliant le débit à la concentration. Comme l'illustre la figure suivante, les auteurs montrent qu'en présence d'un PL circulant à une vitesse nulle (V_0), une lecture rapide du diagramme fondamental permet de retrouver facilement la capacité de la section entière et la vitesse de son flot (point U sur la figure).



Dans la continuité de ce raisonnement, connaissant la vitesse du PL V_{PL} , il est possible de retrouver la vitesse du flot et sa capacité par une simple lecture du diagramme fondamental, comme l'illustre le schéma suivant :



Les auteurs proposent alors un outil permettant d'évaluer l'impact d'une mesure d'interdiction de dépassement de PL basé sur cette théorie. Pour cela, les auteurs postulent l'existence de deux classes de PL : les PL rapides (vides) et les PL lents (chargés). Sur une section en rampe, les PL rapides ont des vitesses libres supérieures à celles des PL lents. Ces PL rapides se décalent donc vers les voies de gauche pour dépasser les PL les plus lents : les PL rapides représentent alors des « obstructions mobiles » sur les voies rapides. L'outil permet alors d'estimer les impacts potentiels d'une mesure de régulation des dépassements par comparaison des temps de parcours avec et sans l'IDPL. En dépit de la rigueur de la démarche théorique adoptée pour l'élaboration de cet outil, il a très peu été utilisé dans le cadre d'évaluation opérationnelle. Il semblerait que le manque d'ergonomie de l'outil soit en partie responsable.

A défaut de disposer d'outil d'évaluation analytique complet et opérationnel de l'IDPL, de récentes études ont malgré tout proposé l'analyse des trafics par une approche analytique pour évaluer l'opportunité d'une mesure d'IDPL. Notamment, on peut noter l'évaluation a priori d'une mesure d'interdiction de dépassement de poids lourds sur la RN346 et l'A47, entre Lyon et Saint-Étienne. Cette évaluation a été menée par le CETE de Lyon en 2008. Pour estimer les bénéfices attendus d'une telle mesure, les auteurs se sont appuyés sur une analyse des trafics historiques sur l'infrastructure. Cette analyse a permis de mettre en évidence une corrélation entre le taux de présence de PL sur la voie de gauche et le temps de parcours. L'analyse de cette corrélation a permis aux auteurs de proposer des formules de calcul de temps de parcours et d'estimer, a priori, les bénéfices de temps de parcours que l'on peut attendre d'une mesure d'interdiction de dépassement de PL (i.e. absence de PL sur la voie de gauche). Cette démarche repose sur l'hypothèse qu'un écoulement régulé par l'IDPL présente les mêmes caractéristiques qu'un écoulement non régulé pour lequel aucun PL n'est observé sur la voie de gauche : cette hypothèse n'a pas été testée ni validée a posteriori.

2.1.4 - « SPECIALIST » - mesure curative de régulation des vitesses

2.1.4.1 - Description générale

Aux Pays-Bas, le dispositif de régulation des vitesses est couramment utilisé afin de « protéger la queue de bouchon ». Cette protection n'a pas une finalité de sécurité routière mais vise, lorsqu'une congestion est présente sur le réseau, à retourner plus rapidement en situation fluide. Pour cela, le dispositif de régulation des vitesses consiste à réguler la vitesse en amont de la zone congestionnée afin de limiter la demande de trafic alimentant la congestion déjà formée.

« SPECIALIST » est un algorithme proposé par Technical University DELFT. Cet algorithme vise (i) à proposer une régulation dynamique des vitesses et (ii) à quantifier par une méthode analytique les bénéfices attendus de la régulation proposée. En cela, SPECIALIST n'est pas seulement un outil d'évaluation analytique puisqu'il propose lui-même les instants d'activation et de désactivation de la régulation. Pour autant, la méthodologie employée pour la construction de cet algorithme est intéressante.

L'algorithme consiste en deux étapes successives : tout d'abord, il détecte la présence d'une congestion et propose un scénario de régulation ; ensuite il évalue (a priori) les bénéfices attendus de la régulation proposée.

Détection de l'onde de choc et proposition d'un scénario de régulation des vitesses

L'algorithme recueille les données de débit et de vitesse afin de détecter l'apparition d'une onde de choc (i.e. apparition d'une congestion). Dès lors qu'une onde de choc est détectée (chute de la vitesse / chute du débit), l'algorithme calcule un scénario de régulation des vitesses optimal en fonction des conditions de trafic courantes.

Évaluation analytique de la régulation proposée

L'algorithme estime l'évolution des états de trafic sur l'ensemble de la zone régulée (amont) et de la zone congestionnée (aval) sur la base de la théorie des ondes cinématiques. L'usage de cette théorie présente plusieurs avantages. Elle permet de tenir compte des caractéristiques spatio-temporelles de la congestion (apparition, propagation, disparition) ; elle permet de représenter l'évolution des états de trafic dans un diagramme espace-temps ; elle permet de calculer (analytiquement) des indicateurs tels que les durées de congestion, les instants de disparition de la congestion, l'évolution des temps de parcours, *etc.*

Cet outil s'inscrit totalement dans la démarche de l'évaluation des performances d'une mesure de gestion dynamique du trafic par l'usage d'un outil analytique. On peut tirer plusieurs enseignements de cette expérience. Tout d'abord, les auteurs insistent sur le fait qu'un outil d'évaluation d'une mesure de gestion de trafic ne saurait se passer des caractéristiques spatio-temporelles du trafic. Ces caractéristiques sont indispensables dans la mesure où elles régissent la manière dont les congestions apparaissent, se propagent sur le réseau puis se résorbent.

Ensuite, les auteurs proposent de passer par l'estimation d'un diagramme espace-temps permettant de représenter les états de trafic sur la zone régulée (en amont) et sur la zone congestionnée (en aval). Pour cela, ils recourent à un outil de modélisation analytique, basé sur l'unique hypothèse d'un diagramme fondamental. Cette méthode est considérablement plus simple que le recours à un outil de simulation dynamique microscopique. Les paragraphes qui suivent détaillent le fonctionnement de l'algorithme.

2.1.4.2 - Description théorique

Cet outil repose sur la théorie des ondes cinématiques. Cette théorie, appliquée au cas d'une régulation de vitesse en amont d'une zone congestionnée, permet d'expliquer pourquoi une diminution des vitesses en amont d'une zone congestionnée permet de résorber plus rapidement la congestion en place. L'explication repose sur le fait que l'activation d'une régulation des vitesses en amont d'une zone congestionnée permet de limiter le volume de trafic qui alimente la congestion existante d'une part, et de créer une zone de « surcapacité en sortie de bouchon » d'autre part.

Au final, la congestion en place se résorbe plus rapidement. Le détail technique de cette théorie n'est pas exposé ici. Le lecteur trouvera des éléments techniques complémentaires dans la présentation de S.P. Hoogendoorn (TU DELFT) au workshop Nearctis 2009, Londres.

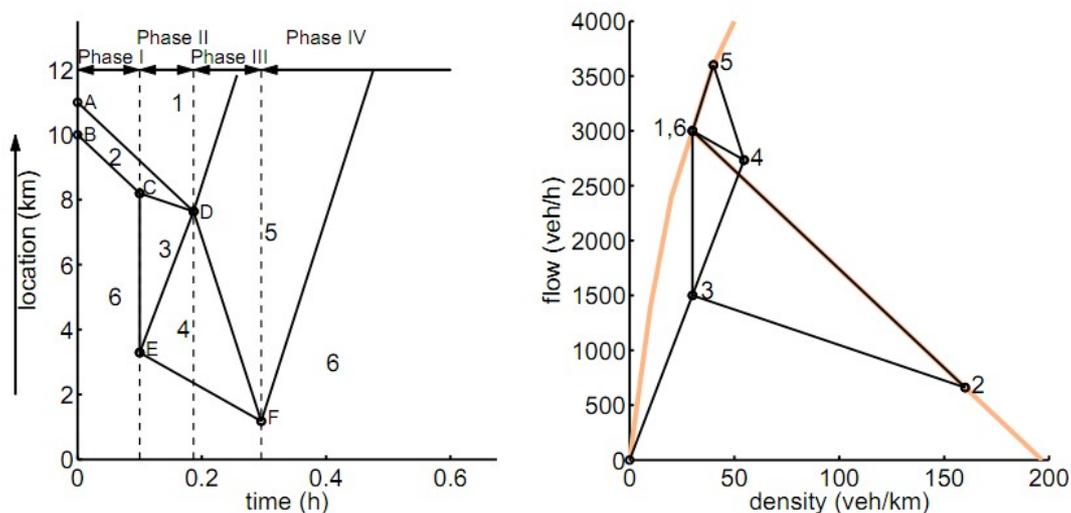


Figure issue de réf. suivante : Dynamic speed limits against moving jams – Field test results of the SPECIALIST algorithm on the A12 freeway, A. Hegyi, S.P. Hoogendoorn,

Cette théorie a été confrontée aux résultats d'une expérimentation menée aux Pays-bas entre septembre 2009 et février 2010. Les résultats préliminaires de cette étude montrent que cette méthode permet de supprimer 80% des ondes de congestion lorsque l'algorithme est activé.

On peut imaginer un outil basé sur cette même théorie des ondes cinématiques pour l'évaluation analytique a priori du dispositif de régulation des vitesses dans sa version curative.

2.2 - Résumé des enseignements bibliographiques

Le tableau qui suit résume les enseignements que l'on peut tirer des précédentes utilisations d'outils d'évaluation analytique.

	Type d'outil	Quelle régulation	Conclusion
Spécialiste	Modélisation macroscopique	Régulation des vitesses, à usage curatif	Bonne approche pour l'évaluation des gains. En revanche, l'outil n'est pas adapté aux dispositifs de régulation des vitesses « préventif » utilisé en France.
Outil Sétra-IDPL	Modélisation macroscopique	IDPL	Pas utilisé, sans doute à cause de son manque d'ergonomie, et du fait qu'il nécessite de connaître les formules utilisées pour le calage de l'outil.
Temps de gêne	Formule statique	-	Les formulations statiques ne sont pas pertinentes pour reproduire les effets des dispositifs de régulation
Gain de temps journalier	Formule statique	-	Idem
Saint Nazaire	Formule statique	Gestion Dynamique des Voies	Idem
OPTRA	Modélisation macroscopique	Régulation d'accès	Mauvaise prise en compte des caractéristiques de trafic autour des convergents

La revue des éléments de la littérature confirme le besoin réel d'outils d'évaluation a priori permettant de quantifier les bénéfices d'une mesure de gestion dynamique du trafic. La littérature confirme également que l'usage d'outils d'évaluation analytique est peu répandu. Pourtant, la demande de tels outils est présente dans la littérature, pour preuve cet extrait du rapport du CERTU (1999) sur la régulation des vitesses sur VRU : " *A défaut de simuler finement le trafic, on doit pouvoir être capable de raisonner avec quelques ordres de grandeur, ne serait-ce que pour mener à bien une indispensable étude d'opportunité (coûts-bénéfices) et définir un non-moins indispensable plan d'évaluation.*" (Régulation des vitesses sur VRU, CERTU 1999) Cette possibilité est évoquée à deux reprises dans ce rapport. Ici les auteurs évoquent le besoin d'outils d'évaluation analytique permettant d'étudier l'opportunité de la mise en place d'un dispositif de régulation et l'évaluation des bénéfices à en attendre.

Ainsi, l'absence de l'usage des outils d'évaluation analytique s'explique par un défaut d'offre et plus que par un défaut de demande. **L'offre d'outil d'évaluation analytique apparaît donc à développer.**

Pour cela, il s'agit dans un premier temps de tirer les principaux enseignements de la littérature pour construction d'outils d'évaluation analytique d'une mesure de gestion dynamique du trafic :

1. la doctrine de l'évaluation peut fournir un cadre méthodologique pour le développement d'un outil analytique. C'est l'objet de la partie 4 « préconisations méthodologiques » ;
2. les connaissances théoriques sur les mécanismes des dispositifs de régulation permettent l'élaboration d'outils et le calcul d'indicateurs de performance. C'est l'objet principal de la partie 5 qui applique le cadre méthodologique (proposé en partie 4) aux dispositifs de régulation des vitesses et de régulation d'accès.

Chapitre 3

Eléments méthodologiques pour la construction d'outils analytiques

L'évaluation d'une mesure de trafic estime le gain attendu de la mise en place d'une mesure de gestion dynamique du trafic. Pour cela, l'outil calcule une différence entre une situation régulée et une situation non-régulée, toutes choses égales par ailleurs.

Il existe plusieurs références dans la littérature rappelant le cadre méthodologique et/ou opérationnel des évaluations de mesures de gestion de trafic, détaillant plus ou moins précisément les différentes étapes par lesquelles doit passer l'évaluateur d'un système.

Il est intéressant de s'inspirer de ce cadre méthodologique pour construire entièrement une méthode d'élaboration, de développement et de validation d'un outil d'évaluation analytique. Ici, on propose une démarche en 5 étapes.

Classiquement, les données d'entrée de l'outil d'évaluation correspondent aux caractéristiques d'offre (type de section, nombre de voies, vitesses réglementaires, *etc.*) et de demande (débit, composition du trafic, *etc.*) de la portion de réseau à réguler. En complément, les données d'entrée doivent contenir des informations relatives au fonctionnement du dispositif de régulation à évaluer, critères d'activation et de désactivation pour la régulation des vitesses, calcul des cycles de feu pour une régulation d'accès, *etc.*)

A partir de ces informations, l'outil effectue des calculs de trafic à partir de formules analytiques. La comparaison des résultats obtenus avec et sans régulation permet finalement de quantifier les éventuels bénéfices de la mise en place du dispositif de régulation.

A noter ici qu'en remplaçant l'étape de « calculs analytiques » par une étape de « simulation dynamique », on retrouve la démarche d'évaluation classique d'une mesure de régulation par un outil de simulation.

3.1-Définition du système à évaluer

Il s'agit ici de définir qualitativement le système à évaluer. Dans le rapport du CERTU « La gestion dynamique des voies, état de l'art et recommandation » (2009), les auteurs proposent la définition suivante : un système définit « un ensemble de dispositifs techniques, matériels ou logiciels, agissant de manière coordonnée pour produire un effet sur l'une ou plusieurs des composantes qui concourent à la gestion du trafic ». Ainsi, un système de régulation dynamique du trafic peut être défini par :

- la section à réguler, décrite notamment par ses caractéristiques géométriques (ex : nombre de voie, longueur des tronçons, déclivité, *etc.*) ;
- ses dispositifs matériels, décrivant notamment les équipements de régulation de la zone régulée (ex : type, lieu et nombre de panneau de régulation, marquage au sol, lieu de PMV, lieux des postes de comptage, *etc.*) ;
- ses dispositifs logiciels : algorithmes régissant l'activation et la désactivation de la mesure de régulation dynamique du trafic.

3.2-Définition du ou des indicateurs de performance

L'indicateur de performance permet de juger, quantitativement, de la performance de l'objet à évaluer. Le rapport Chapulut (2004) identifie deux caractéristiques indispensables pour un indicateur de performance d'un réseau de transports :

- il doit être *commun*, c'est-à-dire applicable à tous les types de mesure à évaluer ;
- il doit être *quantifiable* ;
- il doit être *en lien direct avec l'objectif de la mesure à évaluer*, afin qu'il puisse effectivement quantifier son efficacité.

Ainsi, si la performance attendue d'un dispositif de régulation dynamique est une diminution de la quantité de polluants émise par le parc de véhicules, l'indicateur de performance pourra être une combinaison des masses de CO₂ et de NO_x émises.

Si la performance attendue concerne une réduction de la congestion sur une section, l'indicateur de performance pourra être la capacité maximale d'écoulement de la section ou le retard cumulé par l'ensemble des véhicules ou la durée de la congestion ou la remontée maximale de la file d'attente. Si la performance attendue est une combinaison de plusieurs sous-objectifs, alors l'indicateur final pourra être la combinaison de plusieurs indicateurs, éventuellement pondérés entre eux.

3.3 - Identification des paramètres de l'indicateur de performance

La valeur d'indicateur de performance dépend généralement de plusieurs paramètres ou variables. C'est à partir de ces paramètres/variables que l'on va construire l'outil de calcul de notre indicateur. La sélection de ces paramètres/variables peut se faire en deux temps.

Étape 1 : on recense de manière exhaustive l'ensemble des paramètres ou variables dont peut dépendre l'indicateur de performance. A titre d'exemple, si l'indicateur de performance est le temps de parcours sur une section, alors les paramètres ou variables à prendre en compte concernent les caractéristiques d'offre de la section (nombre de voies, profil géométrique, vitesse maximale autorisée, présence de rampe, type de revêtement, débit maximal observé, météo, etc.) et les caractéristiques de demande en trafic en amont de section (chronique horaire de la demande, composition du trafic, matrice origine-destination, longueur moyenne des véhicules par classe, TMJA, etc.). Cette première liste de paramètres doit être *exhaustive*.

Étape 2 : on ne retient que les paramètres influençant le plus sensiblement l'indicateur de performance, et étant directement mesurable par un recueil de données. Ainsi, si l'effet d'un paramètre est négligeable devant l'effet d'un second paramètre, alors le premier ne sera pas retenu.

A titre d'exemple, si l'indicateur de performance est le temps de parcours sur une section, alors on réduit cette liste précédente aux paramètres les plus sensibles et directement mesurables par des recueils de données (données historiques ou issues d'un recueil dédié à l'évaluation analytique). Ici, si l'âge des conducteurs et les motifs de déplacements peuvent avoir une incidence majeure sur les résultats de temps de parcours, ces variables n'étant pas mesurables, elles sont directement éliminées de la liste de paramètres ou variables.

3.4 -Formulation analytique du ou des indicateurs de performance

Cette étape est décisive. Elle consiste définir les formules permettant de calculer le ou les indicateurs de performance. Ces formules seront la combinaison de l'ensemble des paramètres identifiés précédemment.

Ces formules devront tenir en compte des caractéristiques du dispositif de régulation (critères d'activation et de désactivation, etc.).

Les formules devront être simplifiées afin d'être facilement mise en œuvre.

Ces formules devront être basées sur les connaissances issues de travaux de recherches fondamentales, d'observations empiriques et d'études méthodologiques en théorie du trafic.

3.5 - Validation de l'outil d'évaluation analytique

Il s'agit ici de valider valeurs des bénéfices (ou des pertes) estimés par l'outil d'évaluation analytique. en les confrontant à des données réelles. Cette étape est nécessaire avant la mise en œuvre opérationnelle de l'outil analytique.

Pour cette étape de validation, il faut trouver un site expérimental sur lequel ont aura fait du recueil de données avant et après la mise en place d'un dispositif de régulation.

A titre d'exemple, on peut considérer un outil d'évaluation analytique visant à mesurer les gains de temps de parcours lors du déclenchement d'un dispositif de régulation dynamique. Pour la validation d'un tel outil, il faudra (1) estimer les gains en temps de parcours grâce à l'outil d'évaluation analytique puis (2) confronter ces gains à ceux effectivement constatés lors de la mise en place du dispositif de régulation.

Chapitre 4

Premières tentatives d'application à deux dispositifs de régulation dynamique du trafic

Dans cette section, les trois premières étapes décrites ci-dessous sont appliquées de façon illustrative à deux dispositifs de régulation dynamique classiquement rencontrés sur voies rapides urbaines et sur autoroute : la régulation des vitesses et la régulation d'accès. La quatrième étape, consistant à définir l'expression analytique de l'indicateur de performance ne sera pas menée ici.

En revanche, des bases théoriques pour l'élaboration des formules analytiques sont proposées. Ces bases reposent sur l'état actuel de connaissance en théorie du trafic ; elles reposent également sur des enseignements phénoménologiques tirés de récentes études empiriques portant sur les dispositifs de régulation. Ces bases pourront par la suite être exploitées, en vue de la construction d'outils analytiques complets dans le cadre.

4.1 - La régulation dynamique de la vitesse

On propose ici une description succincte du dispositif de régulation des vitesses, ainsi que des indicateurs de performance de la mesure de régulation et l'identification des principaux paramètres de trafic dont ces indicateurs peuvent dépendre directement. Ensuite, des pistes sont proposées pour l'élaboration des formules analytiques de l'outil.

4.1.1 - Définition du système

On suppose que le dispositif de régulation préconise une vitesse réglementaire inférieure de 10 à 40 km/h à la vitesse maximale autorisée. L'activation et la désactivation de cette mesure de régulation est généralement régie par un algorithme alimenté en temps réel par les données de trafic courantes.

On distingue deux usages de la régulation des vitesses :

- l'usage à des fins préventives : le déclenchement de la mesure de régulation permet alors une augmentation de la capacité globale de la section régulée et permet ainsi d'éviter ou de retarder l'apparition de la congestion ;
- l'usage à des fins curatives : le déclenchement de la régulation vise alors à résorber une congestion déjà formée en protégeant la queue de bouchon.

Les phénomènes de trafic induits par la régulation des vitesses sont totalement différents selon ces deux usages. Il est donc nécessaire de prévoir deux outils distincts :

- un premier outil d'évaluation pour l'évaluation analytique de la régulation des vitesses comme dispositif préventif ;
- un second outil d'évaluation pour l'évaluation de l'efficacité de la régulation des vitesses comme dispositif curatif.

Pour l'élaboration d'une méthode d'évaluation analytique, la description du dispositif de régulation des vitesses doit être affinée en précisant notamment les critères d'activation et de désactivation du dispositif et les réductions des vitesses préconisées selon les conditions de trafic.

4.1.2 - Définition du ou des indicateurs de performance

On distingue les indicateurs de performances dans le cas préventif du cas curatif :

- *Dans le cas d'usage préventif*, le dispositif de régulation de la vitesse vise à augmenter la capacité de la section. On peut identifier la capacité maximale de la section comme un indicateur de performance du système. Cet indicateur présente un avantage majeur : il est possible d'en dériver directement d'autres indicateurs de trafic tels que l'heure d'apparition de la congestion, la durée de la congestion, la longueur de la zone affectée par la congestion, le temps total perdu par les usagers, *etc* ;

- Dans le cas d'usage curatif, le dispositif de régulation des vitesses vise à anticiper la date de disparition de la congestion. L'instant de disparition de la congestion peut être un indicateur de performance du dispositif. On peut en dériver d'autres indicateurs tels que le nombre de véhicule touchés par la congestion ou les retards cumulés subis par ces véhicules.

Si l'indicateur de performance est la capacité, il faut donc identifier l'ensemble des paramètres susceptibles d'intervenir dans la valeur de la capacité. Pour cela, on peut procéder en deux temps : tout d'abord par une liste exhaustive des paramètres potentiellement influant sur la capacité ; ensuite par une liste restreinte des paramètres en ne retenant que les paramètres pour lesquels on présume un facteur de sensibilité important.

Le tableau suivante résume les paramètres d'offre et de demande ayant une influence majeure sur la capacité :

	Paramètres d'offre	Paramètres de demande
Liste exhaustive	<ul style="list-style-type: none"> • vitesse maximale autorisée • nombre de voies • largeur des voies • distance de la bretelle d'entrée la plus proche • distance de la bretelle de sortie la plus proche • présence d'une rampe • déclivité • éblouissement à durant hpm ou l'hps 	<ul style="list-style-type: none"> • chronique de demande de trafic • composition du trafic • vitesse libre (par classe) • longueur moyenne des véhicules (par classe) • largeur moyenne (par classe) • accélération maximale (par classe) • niveau d'utilisation des voies
Liste restreinte	<ul style="list-style-type: none"> • vitesse maximale autorisée • nombre de voies • déclivité 	<ul style="list-style-type: none"> • chronique de demande de trafic • composition du trafic • vitesse libre (par classe) • longueur moyenne (par classe) • niveau d'utilisation des voies

4.1.4 - Idées pour une formulation analytique

Comme indiqué plus haut, il n'est pas envisageable de concevoir un outil d'évaluation analytique capable d'évaluer le dispositif de régulation des vitesses à la fois dans sa version préventive et curative. Deux outils distincts peuvent alors être proposés. Les paragraphes qui suivent proposent un cadre théorique pour définir les formulations analytiques des outils d'évaluation pour la version préventive.

L'objectif ici n'est pas de proposer une version finalisée des formulations analytiques : il se limite à poser un cadre théorique pouvant servir de base à une réflexion plus poussée visant à intégrer ces éléments de théorie dans un outil d'évaluation analytique complet.

Dans le cas préventif, le dispositif de régulation des vitesses consiste à préconiser une vitesse libre inférieure de 10 à 40 km/h inférieure à la vitesse maximale autorisée sur l'infrastructure.

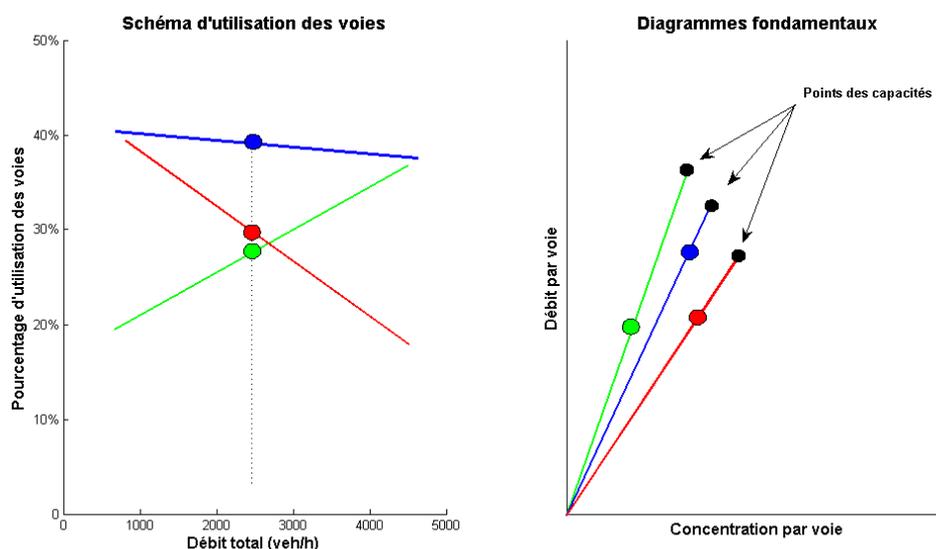
Des travaux de recherche récents menés au sein de l'IFSTTAR (LICIT) ont montré que cette régulation permet une meilleure utilisation de la voie lente.

Ainsi, à l'approche de la capacité, le trafic est davantage réparti sur l'ensemble des voies et la capacité de la section multivoies est alors augmentée.

Ce phénomène peut être mesurer directement par l'estimation du taux d'utilisation de chaque voie de circulation. On peut utiliser ce principe pour construire un outil d'évaluation analytique. Le principe reposerait sur deux « piliers » :

- le schéma qui décrit les niveaux d'utilisation des voies en fonction de la demande totale en trafic ;
- les diagrammes fondamentaux par voies.

Ces deux piliers sont illustrés par la figure suivante dans le cas d'une section à trois voies, avec à gauche un schéma d'utilisation des voies de circulation en fonction de la demande totale en trafic, et à droite les diagrammes fondamentaux de chaque voie de circulation.



Sur la figure à gauche sont représentés les pourcentages d'utilisation des voies lente (rouge), centrale(bleu) et rapide (vert). Dans ce cas d'illustration, on mesure que si la demande totale en véhicules est de 2500 veh/h, alors :

- 31% des véhicules sont sur la voie lente ;
- 41% des véhicules sont sur la voie centrale ;
- 28% des véhicules sont sur la voie rapide.

Sur la figure de droite sont représentés ces mêmes points de fonctionnement sur les diagrammes fondamentaux de chaque voie. On identifie ainsi si une (ou plusieurs) voie(s) de circulation approche(nt) sa (leur) capacité. Dès lors qu'une voie atteint sa capacité, la section entière bascule en régime de congestion.

Ces deux piliers sont directement impactés par la mise en place d'une régulation des vitesses. En effet, cette régulation (i) change le niveau d'utilisation des voies et (ii) change les vitesses pratiquées sur chaque voie et donc les diagrammes fondamentaux par voie.

Pour évaluer l'impact de la régulation des vitesses sur les conditions d'écoulement, il suffit de construire un outil analytique basé sur cette théorie afin de quantifier, a priori, l'effet d'un dispositif de régulation des vitesses. Pour cela, il suffit de connaître la demande (dynamique) sur la section courante régulée.

Dès lors, il est possible de calculer les conditions de trafic avec nos deux « piliers » sans régulation d'une part, et nos deux « piliers » avec régulation d'autre part. Par comparaison des résultats avec et sans régulation, on obtient des indicateurs sur les retards individuels, le retard collectif, le temps passé en congestion, la durée de la congestion, *etc.*

4.2 - La régulation d'accès

4.2.1 - Définition du système

Le dispositif de régulation d'accès vise à optimiser le fonctionnement d'un convergent interurbain ou autoroutier.

Pour cela, la régulation d'accès consiste à installer un feu bicolore ou tricolore laissant passer un ou plusieurs véhicules à la fois. Ce système agit par deux mécanismes :

- tout d'abord, il permet de former une file d'attente en amont de la bretelle d'insertion et d'éviter la dégradation des conditions de circulation sur la section courante interurbaine ou autoroutière (qui est ainsi « privilégiée »);
- ensuite, il permet de meilleures conditions d'insertion (section courante fluide / insertion à haute vitesse) et donc une augmentation potentielle de la capacité d'écoulement en sortie du convergent ;

Pour l'élaboration d'une méthode analytique complète, il est nécessaire de préciser les caractéristiques du dispositif de régulation tels que les critères d'activation et de désactivation du dispositif ; algorithme permettant le calcul du taux de vert du feu de régulation ; *etc.*

4.2.2 - Définition du ou des indicateurs de performance

Le dispositif de régulation consiste donc en partie à décaler la congestion qui se serait naturellement formée sur la branche principale, vers la branche secondaire.

Pour estimer analytiquement le premier effet du dispositif (report de la congestion vers la branche secondaire), il est possible d'estimer le retard subi sur la branche principale d'une part, et le retard subi sur la branche secondaire d'autre part.

La comparaison du scénario régulé et du scénario non régulé permettra ainsi de mesurer les bénéfices (positifs) attendus sur la branche principale et les bénéfices (négatifs) attendus sur la branche secondaire.

Il sera alors possible de faire une évaluation globale pour mesurer le bénéfice global (positif ou négatif) pour l'ensemble des deux branches.

Pour estimer analytiquement le second effet du dispositif de régulation (capacité de sortie du convergent), un indicateur complémentaire peut reposer sur l'estimation de la capacité.

4.2.3 - Identification des paramètres

Le tableau suivant résume les paramètres d'offre et de demande affectant directement le temps de parcours des usagers de la bretelle d'accès et de la section courante.

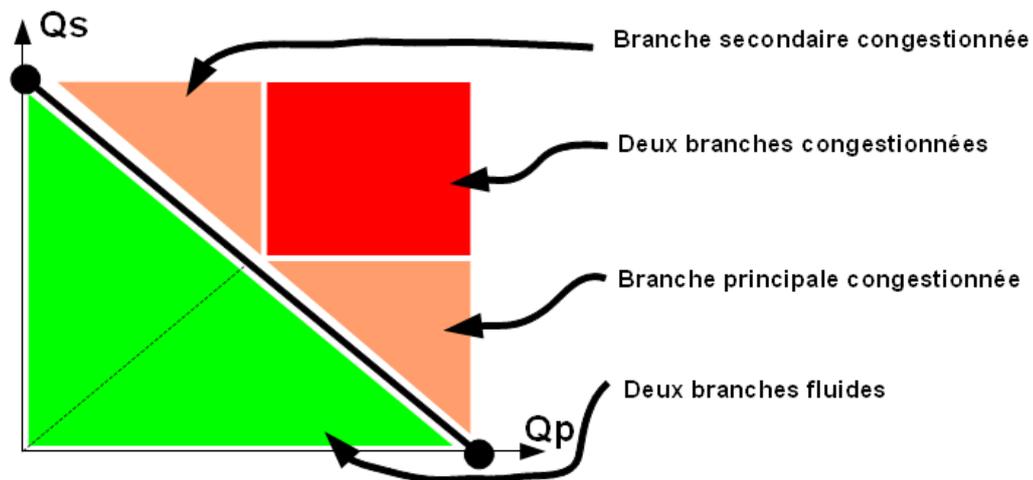
	Paramètres d'offre	Paramètres de demande
Liste exhaustive	<ul style="list-style-type: none"> • vitesse maximale autorisée sur la section courante • nombre de voies sur la branche principale et sur la branche secondaire • capacité sur la branche principale et sur la branche secondaire • longueur de la voie d'accélération • largeur des voies • critère d'activation du feu de régulation • taux de vert du feu de régulation • déclivité de la voie d'accélération • mesures complémentaires (IDPL ou VSL en section courante, information aux usagers par PMV) 	<ul style="list-style-type: none"> • chronique du débit de trafic (sur la section courante et sur la bretelle) • composition du trafic (sur la section courante et sur la bretelle) • vitesse libre (par classe) • longueur moyenne (par classe) • largeur moyenne (par classe) • accélération maximale (par classe) • niveau d'utilisation de la voie de droite • taux de respect/violation du rouge au feu de régulation
Liste restreinte	<ul style="list-style-type: none"> • vitesse maximale autorisée sur la section courante • nombre de voies sur la branche principale et sur la branche secondaire • capacité sur la branche principale et sur la branche secondaire • critère d'activation du feu de régulation • taux de vert du feu de régulation 	<ul style="list-style-type: none"> • chronique du débit de trafic (sur la section courante et sur la bretelle) • composition du trafic (sur la section courante et sur la bretelle) • vitesse libre (par classe) • longueur moyenne (par classe) • accélération maximale (par classe) • niveau d'utilisation de la voie de droite • taux de respect/violation du rouge au feu de régulation

A partir de ces informations, il est possible d'élaborer un outil analytique basé sur une modélisation simplifiée du trafic, capable d'estimer les évolutions de temps de parcours et de temps perdus par les véhicules circulant sur la section courante d'une part, et sur la bretelle d'insertion d'autre part.

4.2.4 - Idées pour une formulation analytique

Le dispositif de régulation d'accès est généralement activé lorsque les demandes issues de la branche principale et de la branche secondaire sont telles que la section courante est proche ou dépasse sa capacité. La régulation permet alors de gérer la localisation spatiale des retards (branche principale / branche secondaire).

De récents travaux de recherche ont également montré que la régulation d'accès peut être une réponse au problème de chute de capacité régulièrement rencontré au niveau des convergents. Ces deux phénomènes peuvent être représentés dans un seul et même outil : la courbe de capacité du convergent. La figure suivante illustre une courbe de capacité.



Ici, Q_p représente la demande/débit de la branche principale et Q_s représente la demande/débit de la branche secondaire. On remarque que, selon les valeurs du couple de demandes (Q_p, Q_s), le fonctionnement du convergent est en régime fluide ou en régime congestionné. La théorie du trafic appliquée au cas du convergent, développée au cours des deux dernières décennies, permet même d'aller plus loin dans l'analyse

- Si le couple de demande (Q_s, Q_p) se situe dans l'aire verte du graphique, alors les deux branches sont fluides ;
- Si le couple de demande (Q_s, Q_p) se situe dans l'aire orange du graphique, alors l'une ou l'autre des branches du convergent est congestionnée ;
- Si le couple de demande (Q_s, Q_p) se situe dans l'aire rouge du graphique, alors les deux branches sont congestionnées.

On peut ainsi connaître le lieu des files d'attentes et le volume de trafic écoulés par chacune des branches. On peut se référer aux travaux de thèse d'E. Chevallier (2008) pour un panorama complet de cette théorie.

Cette théorie peut constituer une base solide pour l'élaboration d'un modèle analytique d'un convergent. En effet, connaissant les demandes sur les branches principale et secondaire et la courbe de capacité du convergent, on connaît les débits écoulés par chacune des branches et l'application de la méthode des débits cumulés permet de connaître les évolutions des files d'attente et des retards de chacune des branches.

Sur cette base, un calcul de débit cumulé permettrait d'estimer plus précisément l'évolution des retards sur chacune des branches du convergent, les retards cumulés sur chacune des branches, l'évolution des longueurs de file d'attente, *etc.*

Conclusion

La revue des travaux existants conduit à dégager les éléments suivants :

L'approche par l'outil d'évaluation analytique présente de nombreux avantages (facile à prendre en main, facile à caler, rapidité de calcul, peu de données d'entrée).

Cependant, on ne dispose pas à ce stade d'une offre d'outils analytiques permettant l'évaluation a priori d'un dispositif de régulation dynamique.

Pour développer cette offre, il est utile de se référer à un cadre méthodologique qui s'inspire des grands principes de l'évaluation a priori des projets de transports (notamment la définition du système et de la situation de référence, ainsi qu'une liste de paramètres – temps – sécurité – nuisances ; dans la lignée du rapport du CGPC Chapulut – 2004).

Une application exploratoire de ce cadre à deux dispositifs de régulation dynamique est proposée dans ce rapport : la régulation d'accès et la régulation des vitesses. Il semble en effet que la théorie du trafic soit suffisamment mature pour permettre l'utilisation de formules analytiques pour ces mesures.

Dans le prolongement de ces deux applications exploratoires, il serait intéressant de construire plus en détail des outils d'évaluation analytique de la régulation des vitesses et de la régulation d'accès. En parallèle, il apparaît encore nécessaire de développer les fondements théoriques pour l'évaluation des mesures d'interdiction de dépassement des poids lourds et de gestion dynamique des voies.

La phase délicate de cette approche porte sur la validation de ces outils par confrontation à des observations empiriques. En effet, rares sont les cas d'étude permettant le calage d'un outil sur une situation non régulée et sur une situation régulée, toutes choses égales par ailleurs.

A titre d'illustration, si une régulation est activée systématiquement lorsque la demande en trafic dépasse une valeur seuil, alors il ne sera pas possible d'obtenir un échantillon de données de trafic non régulé pour des demandes supérieures à ce seuil, et le seul effet de la régulation ne pourra pas être mesuré toutes choses égales par ailleurs. Il sera donc nécessaire de réfléchir à terme, lorsque ces outils seront disponibles, à une ou plusieurs expérimentations pouvant servir de support à la validation de ces outils.

Bibliographie

Etude préalable d'une mesure d'exploitation – Interdiction de dépasser pour les PL et harmonisation des vitesses sur A35, A36, N66, CETE de l'Est, 2010.

Evaluation a priori d'une mesure d'exploitation – Interdiction de dépasser pour les PL et harmonisation des vitesses sur A35, A36, N66, CETE de l'Est, 2010.

Domaine d'emploi des mesures de régulation dynamique du trafic - Proposition de critères d'analyse pour l'application au sillon lorrain et au sillon rhénan, CETE de Lyon, 2010.

Freeway management and operations, Handbook, Final Report, Federal Highway Administration, US Department of Transportation, 2003.

Evaluation a priori d'une mesure d'interdiction de dépassement de poids lourds sur la RN346 et l'A47, entre Lyon et Saint-Étienne, CETE de Lyon, 2011.

Méthode d'aide au choix d'une stratégie de régulation du trafic ,CETE de Lyon, 2011.

Régulation des vitesses sur voies rapides urbaines – une synthèse des expérimentations, CERTU, 1999.

Evaluation socioéconomique des systèmes d'exploitation de la route en milieu urbain, Rapport Chapulut, 2004.

Modélisation dynamique du trafic et du bruit au niveau des carrefours giratoires, Chevallier, E., thèse 2008.

Hétéronéités du trafic autoroutier : identification, quantification, modélisation et impact sur l'écoulement, thèse, Duret, A., 2010.

The expected effectivity of the dynamic speed limit algorithm SPECIALIST – a field data evaluation method, Proceedings of the European Control Conference 2009, Hegyi, A., Hoogendoorn, S. P., Schreuder, M., and Stoelhorst, H., 2009,, Budapest, Hungary, August 23-26, 2009.

removing wide moving jam by variable speed limits Nearctis workshop Hoogendoorn, S. P., SPECIALIST –, London, UK. 2009.

Leclercq, L, Laval, J., Chiabaut, N., 2011, Capacity drops at merges: an endogeneous model, International Symposium On Transportation and Traffic Theory, July 18-20, Berkeley, California, USA.

Approche de la congestion routière – Méthode de calcul du temps de gène, Sétra, 2009.

La gestion dynamique des voies, état de l'art et recommandation, CERTU, 2009.

Pôle de Compétences et d'Innovation

" Régulation dynamique des réseaux de transport "

Ce document a été élaboré sous le pilotage du Sétra par le PCI "Régulation dynamique des réseaux de transport".

Le PCI a pour objectifs d'apporter les éléments de diagnostic et d'évaluation nécessaires à l'élaboration et la mise-en œuvre des stratégies, mesures et systèmes de régulation des flux de transports, notamment dans une logique multimodale.

Le PCI est situé au CETE de Lyon et CETE Ile-de-France

Rédacteur

Aurélien Duret – CETE de Lyon - PCI RDRT

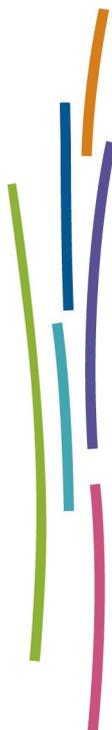
téléphone : 33 (0)4 72 14 31 74 – télécopie : 33 (0)4 72 14 30 05

mél : aurelien.duret@developpement-durable.gouv.fr

Référent Sétra

Marie-Christine Esposito

mel : marie-christine.esposito@developpement-durable.gouv.fr



Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements
110, rue de Paris - SOURDUN – BP 124 – 77487 PROVINS Cedex – France
téléphone : 33 (0)1 60 52 31 31 – télécopie : 33 (0)1 60 52 31 69

Document consultable et téléchargeable sur les sites web du Sétra :

- Internet : <http://www.setra.developpement-durable.gouv.fr>
- Intranet (Réseau ministère) : <http://intra.setra.fr>

*Ce document ne peut être vendu. La reproduction totale du document est libre de droits.
En cas de reproduction partielle, l'accord préalable du Sétra devra être demandé.*

© 2012 Sétra – Référence : 1224w – ISRN : EQ-SETRA--12-ED15--FR

Le Sétra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique
du MEDDE

