Régulation d'accès et régulation dynamique de vitesse sur A25 : l'efficacité de deux mesures simultanées

Simon COHEN (IFSTTAR), David GIL (Cerema/NP), Jean-Eric PÉRUCHON (DIR Nord)

L'actualisation du Système ALLEGRO d'Aide à la Gestion du Trafic de l'agglomération lilloise a conduit la DIR Nord à proposer le déploiement de mesures de régulation dynamique, visant à optimiser l'usage du réseau, réduire les impacts environnementaux et contribuer à une plus grande sécurité. Au terme d'études d'avant projet, des mesures de régulation dynamique d'accès et de vitesse ont été envisagées, de manière expérimentale, sur l'autoroute A25 en direction de Lille. Ces mesures ont été déployées, à partir de septembre 2015 pour la seule régulation d'accès puis de manière simultanée à partir de mars 2016. Le fonctionnement simultané des 2 actions constitue à cet égard une innovation en France.

Cette communication présente l'évaluation, a posteriori et à court terme, de l'efficacité des deux mesures combinées. Le premier paragraphe présente les objectifs et le contexte de l'expérimentation sur l'autoroute A25. Il décrit brièvement les divers dispositifs mis en œuvre. La régulation dynamique de vitesse (RDV) a été mise en œuvre à la pointe du matin des jours ouvrés, sur l'autoroute A25 entre Méteren et Englos, en direction de Lille. Elle a été associée à une régulation de l'accès (RA) La Chapelle d'Armentières, les deux actions fonctionnant alors simultanément à partir du mois de mars 2016. L'évaluation a posteriori des impacts fait l'objet du deuxième paragraphe. Elle s'appuie sur des comparaisons statistiques fondées sur un plan d'expérience et sur des échantillons représentatifs des périodes avec et sans régulation (SC). L'impact des 2 mesures combinées est appréhendé sur le temps de parcours d'un trajet témoin sur A25. Les modalités analysées distinguent aussi le cas de présence ou d'absence de remontées de congestion depuis l'échangeur d'Englos en aval. Le troisième paragraphe analyse le fonctionnement local d'une section témoin à 2x2 voies en utilisant le concept de niveau de service de circulation (NSC).

La conclusion synthétise les principaux résultats issus des analyses statistiques. Les enseignements de l'expérimentation sur A25 permettent d'orienter les décisions futures pour les autres axes du réseau.

1. INTRODUCTION

1.1. Le contexte

Les études préliminaires, réalisées par la DIR Nord, ont mis en exergue le besoin de prendre en compte certains enjeux comme

- l'optimisation de l'usage du réseau ;
- la réduction des impacts environnementaux ;
- et une plus grande sécurité.

L'optimisation de la capacitié des pénétrantes de l'agglomération lilloise est recherchée grâce à des mesures d'exploitation comme la régulation des accès par feux (RA) et la régulation dynamique des

vitesses (RDV). C'est aussi l'objectif de l'extension des affichages des temps de parcours sur les pénétrantes de l'agglomération.

La convergence des exigences de fluidité, de sécurité et de durabilité milite pour un déploiement actif des opérations de régulation dynamique des vitesses, et ce d'autant que la plupart des axes du réseau existant sont déjà pourvus des principaux équipements nécessaires. C'est le sens de la démarche entreprise par la DIR Nord, dans le cadre de l'actualisation du Système d'Aide à la Gestion du Trafic de l'agglomération lilloise : le SAGT ALLEGRO.

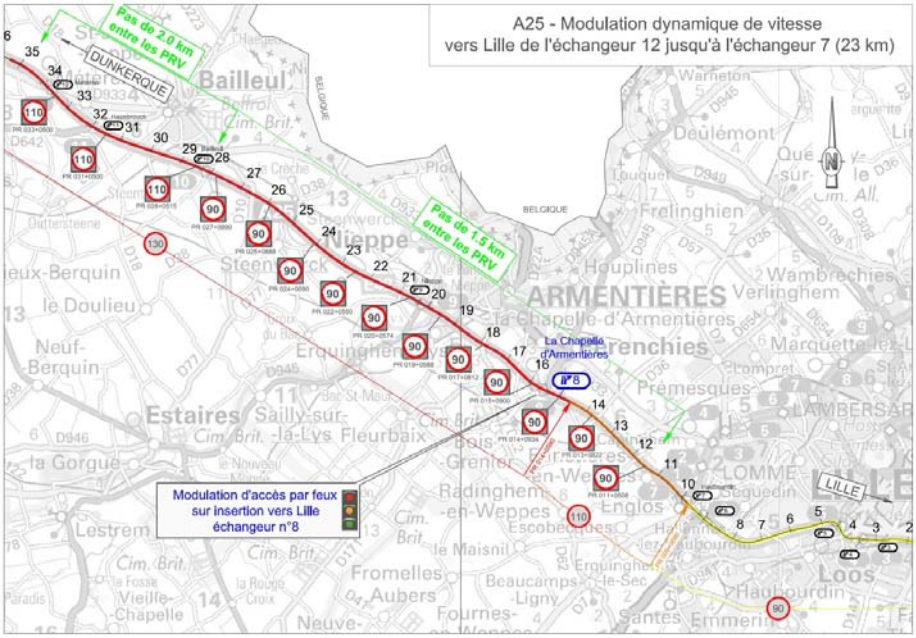

Figure 1 : Tronçon de la régulation dynamique du trafic sur A25 vers Lille (source DIR Nord)

C'est le contexte dans lequel s'inscrit le présent article. Il traite de l'opération de régulation dynamique des vitesses, associée la régulation de l'accès La chapelle d'Armentières, déployées toutes deux sur l'autoroute A25 en direction de Lille, à partir de mars 2016.

1.2. La mise en œuvre

La régulation d'accès (RA) est mise en œuvre, sur l'autoroute A25 vers Lille, à l'échangeur n°8 de La Chapelle d'Armentières, situé au PR 15. Cette mesure vise les objectifs d'optimisation de l'écoulement sur la section courante en maintenant le plus longtemps possible un débit inférieur au débit critique, sans perturber le réseau de surface. La régulation d'accès peut fonctionner avec deux algorithmes adaptatifs : ALINEA, abondamment utilisé en Ile-de-France et l'algorithme CSM de Contrôle Sans Modèle [Fliess, Haj-Salem, 2014]. En pratique, c'est cette méthode CSM qui a été la plus utilisée de manière opérationnelle.

La régulation dynamique de vitesse est, pour sa part, mise en œuvre sur une section de 23 km environ de l'autoroute A25, en direction de Lille, entre Méteren au PR 34 et Englos au PR 11 (figure 1). Cette section comprend 7 échangeurs (de l'échangeur 12 au 5). Elle présente 2 profils en travers différents : 2x2 puis 2x3 voies, avec 3 limitations de vitesse différentes : 130, 110 et 90 km/h. De plus, la section se poursuit, après la courbe du Port de Lille, par une section urbaine à 90 km/h avec des échangeurs rapprochés.

La régulation adoptée consiste à moduler les limitations de vitesse sur l'autoroute selon le trafic afin de stabiliser l'écoulement des véhicules, d'éviter les à-coups susceptibles de créer des incidents, et de favoriser une utilisation optimale des voies.

En pratique, cette modulation se traduit par un abaissement de la vitesse autorisée par paliers de 20 km/h,

- jusqu'à 90 km/h, en cas de congestion récurrente, aux heures de pointe du matin, les jours ouvrés et le dimanche soir ;
- jusqu'à 70 km/h, à tout moment, en cas d'accident, de travaux ou de pic de pollution.

Figure 2 : Panneaux d'affichage sur A25 (Source DIR Nord))

En situation normale de circulation sur l'A25, les panneaux lumineux affichent les limitations de vitesse en vigueur, à savoir 130 et 110 km/h. La RDV n'est pas déclenchée.

En cas de congestion récurrente sur A25, aux heures de pointe des jours ouvrés, la RDV est activée automatiquement par un algorithme, fonctionnant à partir des données issues des capteurs disposés sur l'autoroute.

En cas d'accident, de travaux ou de pic de pollution, la RDV est déclenchée manuellement par les opérateurs de gestion du trafic de la DIRN.

Entre Méteren et Englos, 14 paires de panneaux lumineux sur portiques, couplés à des stations de comptage, affichent la vitesse obligatoire à respecter (Figure 2).

2. L'ÉVALUATION A POSTERIORI

2.1. Les données de l'évaluation

Elles sont de nature multiple. Elles comprennent les temps de parcours fournis par le système ALLEGRO, les mesures de trafic et les informations de contexte.

Les temps de parcours sur un trajet représentatif sont déterminés à partir des mesures de base (débit, taux, vitesse) issues des stations à boucles électromagnétiques. Ils sont calculés sur une base de 3 min et lissés toutes les minutes. Ces temps de parcours sur A25 ont fait l'objet d'une comparaison approfondie avec les données FCD issues de la technologie des véhicules traceurs [Cohen, 2015]. Cette comparaison a confirmé la validité des estimations fournies par le système de boucles.

L'itinéraire représentatif principal correspond à un trajet de 7,804 km sur A25, partant de l'amont de l'accès La Chapelle d'Armentières au pr 18,100 (PMV1400) et aboutissant en aval à l'échangeur d'Englos au pr 10,296. Ce trajet est en totalité situé sur le tronçon régulé.

Un second trajet, partant du PMV1200 pour aboutir au Centre Hospitalier Régional (CHR) et d'une longueur de 6,953 km, permet de tester si l'impact de la régulation de vitesse perdure au-delà de l'échangeur d'Englos.

Pour quantifier l'impact de la régulation des vitesses, les temps de parcours sont recueillis durant les jours ouvrés des périodes suivantes :

- du 6 mai au 30 juin 2015, avec quelques jours en octobre et novembre 2015, pour la période « SC » sans contrôle ;
- du 19 février au 07 mars 2016, avec la seule régulation d'accès (RA) ;
- du 08 mars au 20 avril 2016, avec la régulation d'accès (RA) ***et*** la régulation dynamique de vitesse (RDV) ***simultanées***.

On dispose ainsi de 3 échantillons :

- de ***40 jours*** de données 2015, pour l'état zéro « SC » sans contrôle ;
- de ***11 jours*** de données 2016, pour la période qualifiée RA ;
- ***31 jours*** en 2016, régulés avec les stratégies simultanées RA et RDV.

Les données de trafic (débit, taux d'occupation, vitesse) sont utiles pour l'étude locale des niveaux de service de circulation (NSC). Elles sont sélectionnées au niveau d'un arc représentatif sur A25 situé sur le tronçon régulé et localisé en aval de l'accès La Chapelle d'Armentières.

Les modalités « RA » et « RA+RDV » correspondent aux mêmes périodes que celles mentionnées précédemment pour les temps de parcours.

Les informations de contexte permettent d'affiner l'analyse statistique des données. Il s'agit d'informations relatives à la météo et d'éléments figurant sur la « main courante » de l'exploitant.

Les informations météo des mois de février, mars, avril 2016 sont extraites, pour la ville de Lille, sur le site international Weather Underground :

http://www.wunderground.com/history/airport/LFQQ/2014/7/17/MonthlyHistory.html#calendar

Les informations de la main courante de l'exploitant sont également utiles. Elles permettent d'identifier, a posteriori, des périodes correspondant à des événements particuliers : incidents, accidents, etc.

2.2. Impact sur le temps de parcours du trajet témoin

On compare ci-après quelques indicateurs statistiques des temps de parcours noté tp, au cours de la pointe du matin entre 6h30 et 10h30 sur le trajet représentatif témoin PMV1400-Englos.

La période de référence de l'évaluation est assimilée à *l'état zéro*. Cette pratique est en effet licite en gestion du trafic lorsque les projets sont d'ampleur limitée, ce qui est le cas pour la régulation dynamique de vitesse traitée ici [Guide Certu, 2013]. La période de référence est représentée par 40 jours sans régulation d'accès ni de vitesse, pris principalement durant les mois de mai, juin, complétés par quelques jours en octobre et novembre 2015. On a par ailleurs 11 jours ouvrés, du 19 de février au 07 mars 2016, pour la régulation d'accès (RA avec l'algorithme CSM) et 31 jours ouvrés, du 08 mars au 20 avril 2016, pour la période doublement régulée RA + RDV.

Le Tableau 1 ci-dessous présente les principaux indicateurs de dispersion. Dans ce tableau, la colonne SC correspond à la situation Sans Contrôle, c'est-à-dire sans régulation de l'accès La Chapelle d'Armentières. Les indicateurs correspondants sont issus de 40 jours sans régulation, pris durant les mois de mai, juin, octobre et novembre 2015 [Cohen, 2016].

Stratégie	SC 2015	RA 2016	RA + RDV
Nb Jours ouvrés	*40*	*11*	*31*
Taille échantillon	*7905*	*2649*	*7446*
tp minimum (s)	*337*	*305*	*279*
tp maximum (s)	*1734*	*940*	*1128*
tp médian (s)	*495*	*493*	*396*
tp moyen usager (s)	***631***	***536***	***480***
écart type (s)	*367*	*231*	*152*
Nombre d'usagers	*10 802*	*11 081*	*11 383*

Tableau 1 : Temps de parcours (tp), avec et sans régulation de vitesse

Au regard des données disponibles et au seuil d'erreur de 5%, ***les écarts respectifs***

- ***de 95 s*** entre les 2 modalités « SC » et « RA »
- ***de 56 s*** entre les 2 modalités « RA » et « RA+RDV »
-

sont considérés comme ***significatifs.*** À la pointe du matin, la régulation dynamique de vitesse, associée à la régulation d'un accès, réduit donc le temps de parcours du trajet principal (7,80 km) de ***2mn 30s environ***.

La comparaison des variances permet d'appréhender la variabilité des temps de parcours à la pointe du matin. Avec le test du F de Fisher-Snedecor [Saporta, 2011], on montre que la variance des temps de parcours sans régulation est supérieure à celle obtenue avec régulation. À la pointe du matin, entre 6h30 et 10h30, la ***variabilité*** des temps de parcours régulés par la mesure (RA+RDV) est donc plus faible.

Le nombre d'usagers de l'autoroute bénéficiant de ces conditions de circulation peut être recensé à partir des comptages sur A25. Les débits mesurés à la station (21720) à 2x2 voies fournissent les éléments du tableau suivant. Le calcul de l'indicateur véh*km s'en déduit compte tenu de la longueur de l'itinéraire (7,804 km).

Stratégie	RA	RA+RDV
Nombre d'usagers	*11 081*	*11 383*
Nombre de véh*km	*86 477*	*88 878*

*Tableau 3 : Nombre d'usagers et de véh*km, durant la pointe de 6h30 à 10h30*

On note une augmentation de 2,7% du nombre d'usagers servis avec la régulation dynamique de vitesse.

2.3. Comparaison avec congestion en aval depuis Englos

Le Tableau 2 présente les divers indicateurs utiles. Dans la configuration RA, le nombre de jours est réduit à 4.

Stratégie	RA 2016	RA + RDV
Nb Jours ouvrés	*4*	*10*
Taille échantillon	*958*	*2400*
tp minimum (s)	*273*	*268*
tp maximum (s)	*4013*	*4682*
tp médian (s)	*639*	*535*
tp moyen usager (s)	***752***	***732***
écart type (s)	*484*	*585*
Nombre d'usagers	*10310*	*10942*

Tableau 2: Temps de parcours (tp), avec congestion par l'aval

Avec les données précédentes, on montre que l'écart de 20 s entre les temps de parcours moyens ***n'est pas significatif***. Au seuil de 5% d'erreur, les variances de temps de parcours ne sont pas statistiquement différentes.

Dans la configuration analysée ***avec remontée de congestion par l'aval***, la régulation dynamique de vitesse, associée à la régulation d'accès, ***ne réduit pas le temps de parcours*** moyen et ***n'améliore pas*** non plus ***sa dispersion***.

3. IMPACT SUR LES NIVEAUX DE SERVICE DE CIRCULATION (NSC)

L'évaluation a posteriori de l'impact de la régulation dynamique des vitesses est déclinée sur les conditions de circulation locales. Celles-ci sont appréhendées par le concept de niveau de service de circulation (NSC). Les impacts locaux sont ainsi évalués sur A25 au niveau d'un arc

témoin (21720) en aval de l'échangeur de La Chapelle d'Armentières et totalement situé sur le tronçon soumis à la RDV.

3.1 Répartition globale

Les Figures 3a et 3b suivantes illustrent le résultat pour les 2 stratégies « RA » et « RA+RDV ». Rappelons que les données sont celles des matins des jours ouvrés, entre 6h et 12h.

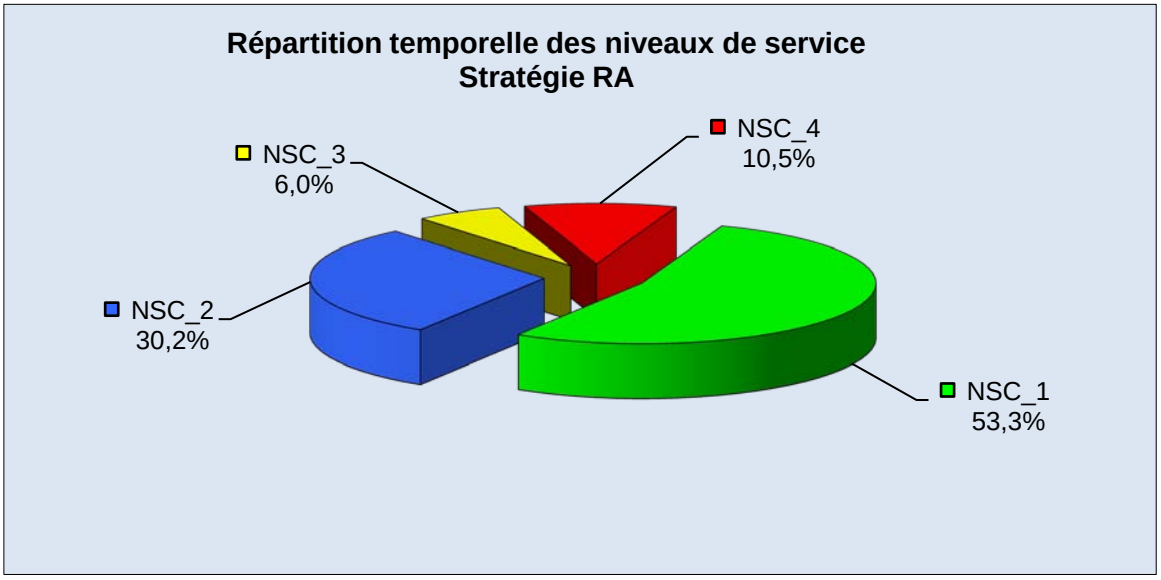

Figure 3a : Répartition des niveaux de service, matins des jours ouvrés, RA

Les durées des niveaux en fluidité NSC_1 et NSC_2 augmentent avec la mesure combinée (RA+RDV). Corrélativement, les durées en congestion baissent, comme le montre la figure ci-dessous.

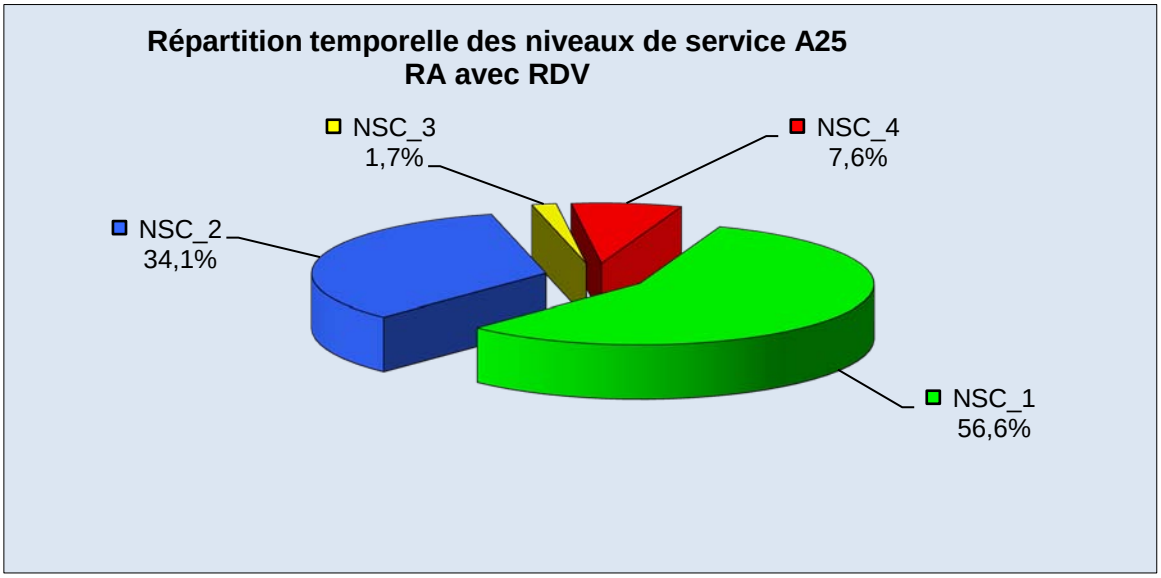

Figure 3b : Répartition des niveaux de service, matins des jours ouvrés, CSM+RDV

L'impact local de l'association RA+RDV apparaît donc nettement.

3.2 Répartition horaire des niveaux de service

Cette représentation, Figures 4a et 4b, permet de repérer les plages horaires dans lesquelles s'effectuent les éventuelles variations. Elle permet également de bien souligner l'impact sur la réduction de la durée de congestion.

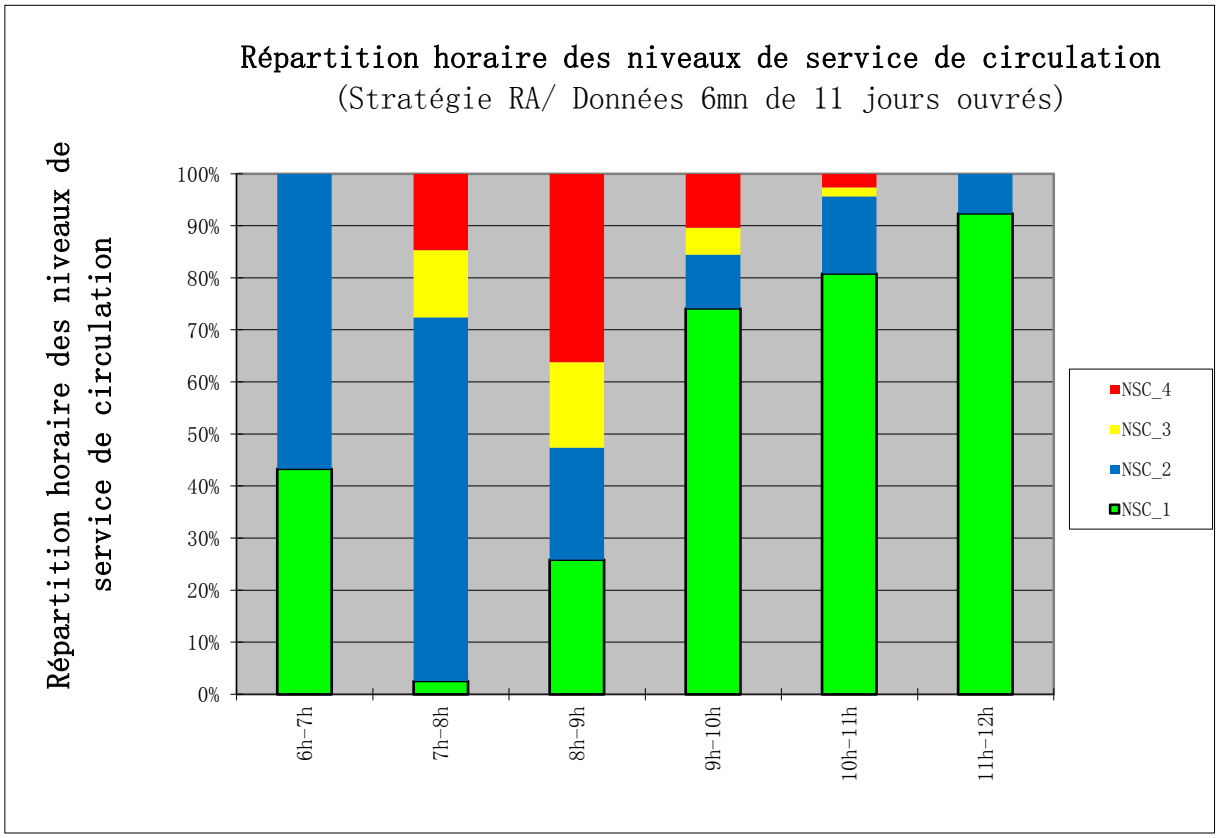

Figure 4a : Répartition horaire des NSC (6h-12h), stratégie CSM

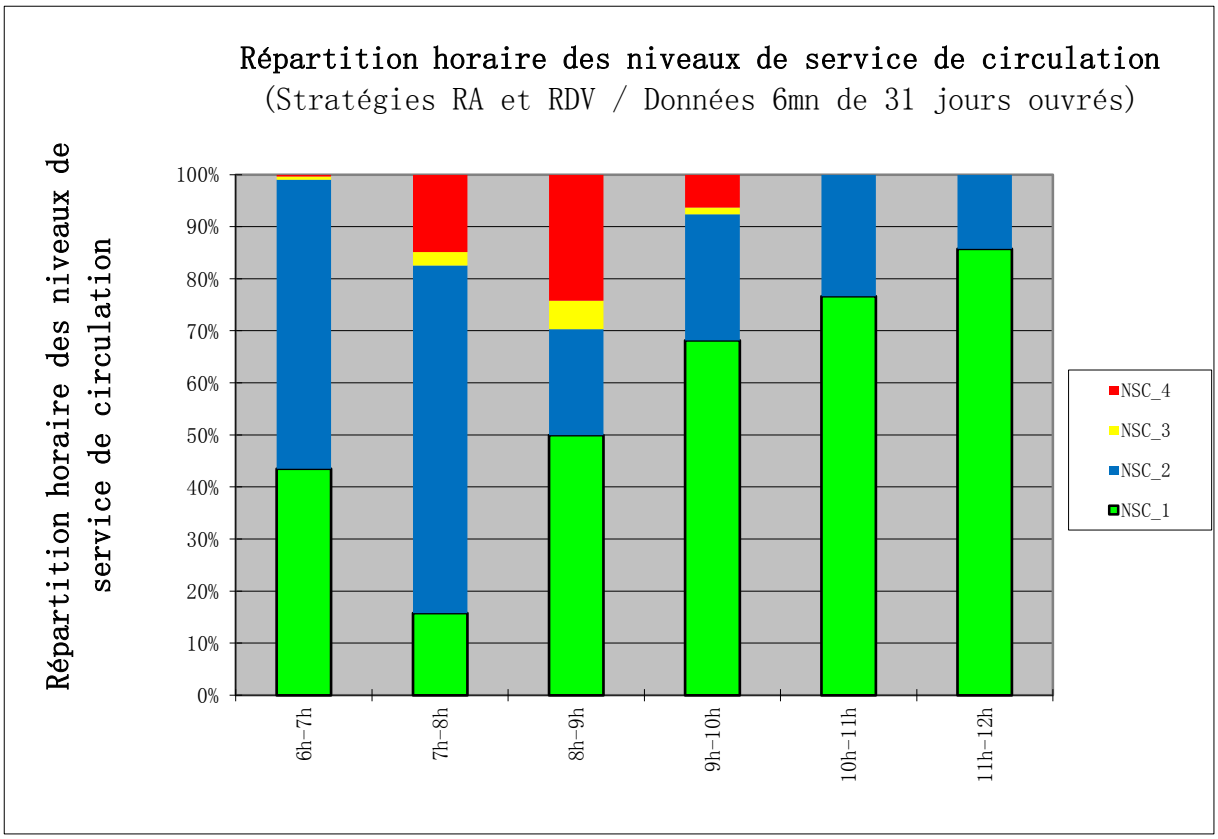

Figure 4b : Répartition horaire des NSC (6h-12h), stratégies RA et RDV

Les impacts de l'association RA+RDV sont bien apparents :

- de 7h à 8h : la durée de congestion (NSC_3 + NSC_4) est réduite de 28% à 18% ;
- de 8h à 9h : la durée de congestion est réduite de 52% à 30% ;
- de 9h à 10h : la durée de congestion est réduite de 16% à 8% ;
- de 10h à 11h : la durée de congestion de 4% passe à 0%.

4. CONCLUSION ET RÉSULTATS MAJEURS

Cet article présente l'évaluation, ***à court terme***, de l'efficacité de la régulation dynamique de vitesse (RDV), mise en œuvre à la pointe du matin des jours ouvrés, sur 23 km de l'autoroute A25 entre Méteren et Englos, en direction de Lille. Cette mesure est ***associée*** à une régulation de l'accès (RA) La Chapelle d'Armentières sur A25, les 2 actions fonctionnant alors ***simultanément***.

L'évaluation a posteriori s'appuie sur des observations réalisées durant 40 jours sans régulation. Pour l'évaluation, cet état zéro correspond à la période de référence. Une seconde configuration, servant également de base aux comparaisons, correspond à une période de 11 jours ouvrés avec une régulation d'accès effective. Enfin, une période de 31 jours ouvrés constitue la part régulée à court terme, avec un fonctionnement ***simultané*** des deux mesures RA et RDV.

L'impact de la RDV, associée à la RA, sur les conditions de circulation est alors décliné selon deux approches complémentaires :

- la première, globale, concerne le critère temps de parcours, mesuré sur un trajet représentatif de A25 de 8 km environ, situé sur le tronçon régulé ;
- la seconde, locale, s'appuie sur le concept de niveau de service de circulation (NSC) observé sur une section représentative à 2x2 voies de A25, située sur le tronçon régulé.

Les conclusions majeures issues des comparaisons statistiques se résument ainsi.

- La RDV associée à la régulation d'accès RA réduit significativement le temps de parcours moyen du trajet principal de ***2 min 30 s*** environ, par rapport à l'absence de contrôle (SC). De plus, elle réduit la variabilité des temps de parcours et améliore ainsi leur régularité. Davantage d'usagers (+2,7%) sont servis durant la pointe du matin des jours ouvrés, soulignant ainsi la meilleure attractivité de l'infrastructure régulée.

- Les durées des niveaux en fluidité NSC_1 et NSC_2 augmentent nettement avec la RDV associée à la RA. Corrélativement, les durées de congestion (NSC_3 et NSC_4) sont réduites à chaque heure de la pointe matinale.

- En cas de remontée de congestion depuis l'échangeur d'Englos, les 2 mesures simultanées RDV et RA n'ont pas d'impact significatif. Les temps de parcours moyens avec la RA, d'une part, et la RA associée à la RDV d'autre part, ne sont pas statistiquement différents. La variance des temps de parcours n'est pas significativement réduite.

Les enseignements de l'expérimentation sur A25 permettent d'orienter les décisions futures pour les autres axes du réseau géré par la DIR Nord, en particulier les autoroutes A1, A22 et A23.

RÉFÉRENCES

Certu, (2013) Guide méthodologique : Évaluation des projets de gestion des trafics et d'information des usagers, sous la direction de Jacques Salager, version v05, juillet 2013.

Cohen S., (2016) Évaluation de la régulation d'accès sur l'autoroute A25, échangeur n°8 de La Chapelle d'Armentières, rapport de convention DIR Nord/IFSTTAR, avril 2016.

EGIS Mobilité (2012) Gestion de trafic sur l'agglomération lilloise, ALLEGRO, APSM, Phase 1 : Diagnostic et analyse des stratégies, sous-dossier B1, mars 2012.

Fliess M., Haj-Salem H., (2014) Évaluation en simulation de l'impact de la régulation d'accès isolé sur A25 : ALINEA et Contrôle Sans Modèle, rapport de convention DIR Nord/ Cerema/IFSTTAR/LIX, septembre 2014.

Gil D., Péruchon J-E., (2015) Abaissement progressif des vitesses sur l'autoroute A25 : choix et mise en œuvre d'une mesure de gestion dynamique du trafic, Congrès international de l'ATEC-ITS France, Montrouge, Janvier 2015.

Saporta G., (2011) Probabilités, analyse des données et statistique, Editions Technip, Paris.