

# Evaluation Opérationnelle de la Régulation d'Accès sur les Autoroutes de l'IDF Basée sur la Stratégie ALINEA

Moussa BOUKHNIFFER<sup>1</sup>, Habib HAJ SALEM<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Commande et Systèmes

Ecole Supérieure des Techniques Aéronautiques et de Construction Automobile (ESTACA)

34-36 rue Victor Hugo - 92 300 Levallois-Perret, France

[moussa.boukhniifer@estaca.fr](mailto:moussa.boukhniifer@estaca.fr)

<sup>2</sup>Génie des Réseaux de Transport et Informatique Avancée

Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS)

2 rue de la Butte Verte- 93166 Noisy Le Grand, France.

[haj-salem@inrets.fr](mailto:haj-salem@inrets.fr)

**Résumé—** L'objectif de cette étude est l'évaluation de l'impact de la régulation d'accès généralisée sur la partie Est du réseau autoroutier de l'Île de France (IDF) en utilisant la stratégie ALINEA (Asservissement Linéaire d'entrée sur Autoroute). Cette évaluation concerne la première tranche de déploiement de la régulation d'accès sur les autoroutes de l'IDF. Le site étudié comprend les autoroutes A86 dans les deux sens de circulation (intérieur « I » et extérieur « E »), A4 dans les deux sens (Y et W) et A6BY dans le sens province. Le nombre d'accès concerné est au nombre de 17. La première étape de cette étude a consisté à calibrer la stratégie ALINEA pour chacun des accès. Dans la seconde étape, deux échantillons de données du trafic sont constituées (avec ALINEA et Sans contrôle) afin d'évaluer l'impact sur le trafic d'ALINEA. Quel que soit l'axe considéré, les résultats obtenus indiquent un impact positif d'ALINEA sur le trafic. Comparé au sans contrôle, on observe une amélioration du temps passé et de la distance parcourue sur les différents axes variant respectivement entre 3% - 15% et 1%-14%.

**Mots-clés—** Régulation, Trafic routier, ALINEA.

## I. INTRODUCTION

Le contrôle d'accès est une technique de régulation des autoroutes très utilisée aux États-Unis depuis les années 60. C'est seulement vers la fin des années 70 qu'il a commencé à être testé et évalué en Europe et plus particulièrement en France. Depuis les années 90, un regain d'intérêt par les décideurs est de plus en plus observé en France et en Europe. La régulation d'accès a été identifiée dès la conception de système SIRIUS, comme l'un des principaux leviers pour agir sur la commande de trafic : elle permet d'adapter le flux entrant sur l'autoroute pour optimiser le débit de la section autoroutière et permettre ainsi de minimiser les congestions. La régulation se traduit pour l'utilisateur dont le trajet emprunte la voie rapide régulée, par une réduction du temps de parcours global ; pour l'exploitant, par une augmentation de la vitesse moyenne et donc par une meilleure utilisation de la capacité de l'infrastructure et par conséquent par un moindre volume d'encombrement et donc un minimum de temps total perdu. L'inscription de la régulation d'accès dans l'ensemble des préoccupations actuelles en matière d'exploitation et de gestion des déplacements a conduit au financement au titre du XIIème contrat de Plan État/Région (2000-2006) d'un programme de régulation sur 80 accès aux voies rapides urbaines d'Île-de-France. Les principes retenus pour le programme lancé début 2002 s'appuient sur une régulation par

cycles de feux adaptatifs reposant sur l'algorithme ALINEA développé par l'INRETS [1],[2]. L'outil de télécommande informatique des contrôleurs est baptisé ACCES\_2 (Automatisation du Contrôle de la Circulation sur les Entrées du réseau SIRIUS), prend en charge l'application de la régulation d'accès. Dans le cadre de la première tranche de ce programme, la Direction Interdépartementale des Routes Ile-de-France (DIRIF) a entrepris une implémentation opérationnelle d'ACCES\_2. Il est prévu de réguler 21 accès équipés situés principalement sur A4Y-A4W, la rocade A86I-A86E et la radiale A6BY. L'objectif de cette étude est donc d'évaluer l'impact sur les conditions de trafic de la régulation d'accès généralisée sur cette partie Est des autoroutes de l'Île de France.

Dans cet article, la première section est dédiée à la description du site suivie d'un rappel de principe de la stratégie d'ALINEA. Dans la section 3, les critères d'évaluation sont explicités et suivis par des résultats expérimentaux montrant l'efficacité de la stratégie ALINEA.

## II. DESCRIPTION DU SITE

Le site opérationnel est représenté par la Figure 1. Les parties des autoroutes concernées par la régulation d'accès sont entourées par la courbe en noir. La première tranche d'implémentation opérationnelle de la régulation d'accès, concerne les autoroutes A86I/E, A4W/Y et A6bY. Cependant, pour des raisons techniques (problème de configuration des stations de mesures situées sur la concession de Cofiroute), tous les accès situés sur A86 Ouest sont exclus du champ de cette évaluation. Ce qui ramène le nombre total des accès à réguler à 17 cf. [1].

Le recueil automatique de données (RAD) est basé sur les boucles électromagnétiques. Tous le réseau autoroutier de la DIRIF est équipé de boucles électromagnétiques installées tous les 500 m environ. Elles permettent la mesure, du débit (Q), du taux d'occupation (TO) du trafic. Des doubles boucles sont implantées tous les 3 ou 4 km pour la mesure de la vitesse. Connaissant la vitesse et le taux d'occupation par véhicule, on estime la longueur électrique (Le) des véhicules, permettant ainsi de calculer la vitesse sur les boucles simples avoisinantes et d'estimer éventuellement le taux de Poids Lourds sur la section. La supervision du RAD est assurée par le nouveau module, dénommé « KIR » qui est en charge de la

qualification des données recueillies et le cas échéant, de la reconstitution des données manquantes.

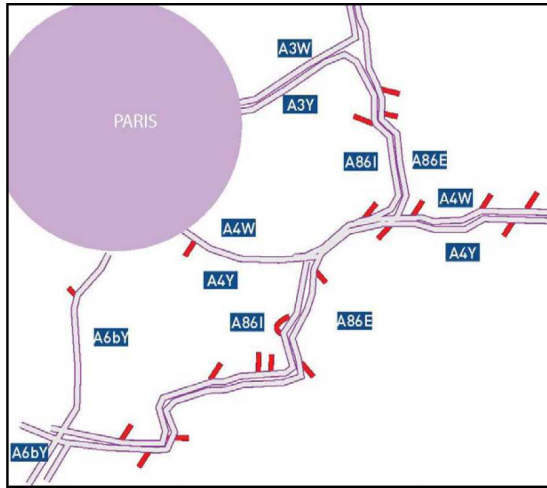


Figure 1. Description du site

### III. DESCRIPTION D'ALINEA

ALINEA [2], [3], [4] est une stratégie de régulation d'accès isolé. Elle est basée sur la théorie des asservissements des systèmes linéaires. La variable de commande est le débit de la rampe d'accès et la variable d'entrée est le taux d'occupation de la station aval de l'accès. Le fonctionnement d'ALINEA consiste à maintenir la densité sur la section aval du convergent au voisinage de sa capacité. La valeur choisie est proche de la densité critique (consigne), correspond à une utilisation optimale de la capacité offerte par l'autoroute.

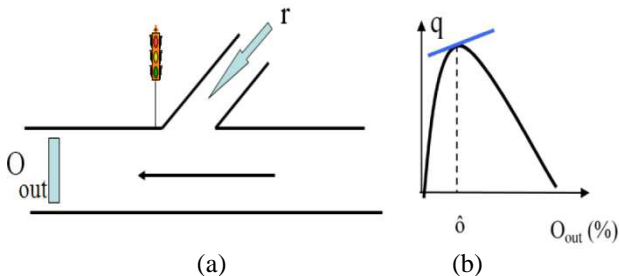


Figure 2. (a) Implantation de la stratégie ALINEA  
(b) Diagramme fondamental

En fonction du taux d'occupation mesuré sur la section courante de l'autoroute à chaque instant, la stratégie détermine le débit maximum autorisé sur la rampe d'accès pour éviter la saturation, tout en tenant compte de la variation de débit dans le temps.

La loi de commande ALINEA s'écrit :

$$r(k) = r(k-1) + K_R (\hat{O}_{cr} - O(k)) \quad (1)$$

$K_R$  : Constante positive d'ALINEA (gain de boucle)

$\hat{O}_{cr}$  : Taux d'occupation critique de la station en aval de l'accès exprimé en (%)

$O(k)$  : Taux d'occupation de la station aval à l'instant  $kT$ , exprimé en (%)

$r(k-1)$  : Débit de la rampe d'accès durant le cycle précédent ( $k-1$ ), exprimé en nombre de véhicule

$r(k)$  : Débit de la rampe d'accès durant le cycle présent ( $k$ ), exprimé en nombre de véhicule.

Le débit d'entrée de la rampe d'accès doit être transformé en une durée de feu vert  $g_i(k)$ . Cette durée est déterminée par la relation suivante:

$$g(k) = \frac{r(k)}{q_{sat}} \quad (2)$$

Où  $q_{sat}$  est le débit de saturation (maximum) de la rampe en (vh/s).

La durée de vert optimal calculé par l'équation (2) est soumise à des contraintes:

- Si la durée de vert calculée est inférieure à la durée du vert minimum, elle est ramenée à la durée de vert minimum.
- Si la durée de vert calculée est supérieure à la durée du vert maximum, elle est ramenée à la durée du cycle (escamotage du rouge).

Comme c'est indiqué dans l'équation (1), le paramètre important à calibrer correspond au taux d'occupation critique par accès. Les données nécessaires pour élaborer un calibrage optimal doivent correspondre au cycle de fonctionnement d'ALINEA qui est égal à 40 secondes. Les valeurs de consigne ont été déterminées expérimentalement à partir du diagramme fondamental des stations rattachées à chaque accès régulé : station de référence et la remplaçante (La station remplaçante est substituée à la principale en cas de panne).

### IV. SELECTIONS DES JOURS

Les données utilisées sont extraites de la base des données du système d'exploitation SIRIUS (DIRIF). Elles consistent en des valeurs moyennes du débit, du taux d'occupation et de la vitesse, agrégées sur un intervalle de temps de six minutes pour chaque station du réseau autoroutier, à partir des données prélevées toutes les vingt secondes et pour chaque file de l'autoroute.

Critères	Exigences
Nature des jours d'expérimentation	Jours de semaine hors jours fériés, et en niveau de demande comparable
Période horaire	Période englobant l'heure de pointe du matin et l'heure de pointe du soir
Météo	Sans précipitations ni autres phénomènes perturbants (neige, verglas)
Situation générale	Absence d'événements perturbant le secteur (incidents, travaux, ...)

Tableau 1. Critères de sélection des jours

Il s'agit, à partir de critères préalablement fixés (trafic normal, sans accidents, luminosité, conditions météo), de sélectionner un nombre de jours, pour chacune des 2 stratégies (Sans Contrôle, ALINEA). Les critères essentiels de sélection sont indiqués dans le tableau 1:

En appliquant les critères de sélection de jours, cette procédure nous a délivré deux échantillons de données réelles correspondant à 30 jours pour le sans contrôle et 41 jours pour ALINEA.

#### IV. CRITERES D'EVALUATION

Les critères d'évaluation choisis dans cette étude correspondent à ceux utilisés couramment par les exploitants. Ils correspondent aux [1][4][5]:

- Temps total passé dans le réseau (TTP),
- Distance parcourue totale (DPT),
- Temps de parcours par axe,
- Consommation d'énergie,
- Temps de parcours par axe,
- Emission de polluant (HC, CO),
- Cartographie des congestions,
- Trafic/sécurité : Critère du Risque.

#### V. RESULTATS DE L'EVALUATION

Dans cette section, les résultats de l'évaluation sont présentés axe par axe. Notons que les axes A86/E incluent les données du tronç commun A4W/Y (partie d'autoroute sur trois périodes de la journée : la période totale (6h30-20h), le pic du matin (6h30-10h30) et le pic du soir (15h-20h). Ces périodes ont été choisies en tenant compte du fonctionnement des contrôleurs et en particulier du début et de fin de régulation. Les deux ensembles de jours sont sélectionnés sans accidents.

##### A. Analyse qualitative et quantitative des résultats sur A4W

La figure 4 indique l'évolution temporelle du temps passé et de la distance parcourue pendant la journée moyenne et pour les deux modalités « Sans contrôle » et « ALINEA ».

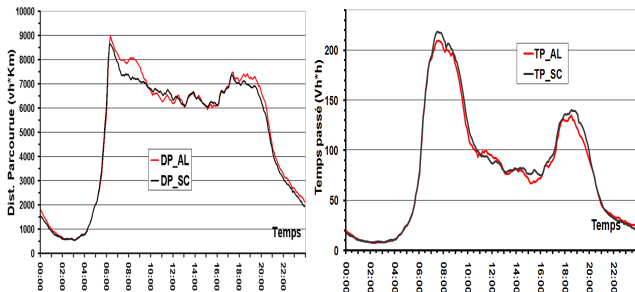


Figure 4. A4W : journée moyenne, évolution du critère Temps Passés et de distance parcourue

Concernant la demande, on remarque que la distance parcourue pendant la période 5h-6h30 est identique pour les deux modalités sans contrôle et ALINEA. Donc, on peut supposer que les demandes pour tous les jours sélectionnés sont semblables.

Sur la figure 4, on observe qualitativement que les deux critères sont améliorés pendant le pic du matin et du soir et plus particulièrement la distance parcourue qui exprime le nombre de véhicules Km écoulé (vh\*km).

Ce constat est confirmé par l'aperçu de la cartographie des congestions (cf. Figure 3). En effet, les courbes des iso-taux d'occupation de niveau élevé (TO > 28%, couleur noir) ont une surface plus faible pour ALINEA comparée à celle du sans contrôle. Sur cet axe, les congestions apparaissent en premier au niveau du pont de Nogent puis sur le tronç commun A4/A86 et au niveau de l'arrivée d'A4W sur le périphérique. Pendant le pic du matin, les trois têtes de bouchon ont tendance à se rejoindre pour former une seule congestion unique couvrant tout l'axe A4W entraînant ainsi

une dégradation du fonctionnement de l'infrastructure. Afin de limiter la formation des congestions sur cet axe, on dispose de 4 accès régulés qui sont localisés entre les PR 7.5 et le PR 15 correspondant au tronç le plus congestionné (pont de Nogent et tronç commun). Par conséquent la mise en place d'ALINEA, a permis de réduire d'une manière notable l'étendu des congestions.

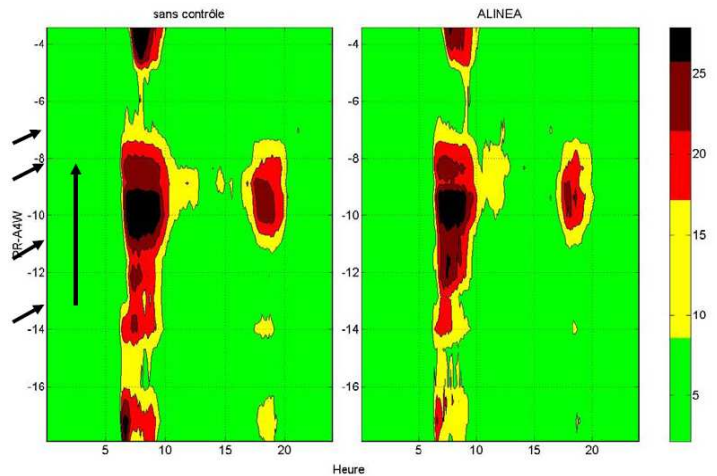


Figure 3. A4W : Cartographies des congestions : Sans contrôle et ALINEA

Les résultats quantitatifs sont indiqués dans le Tableau 2 correspondant aux trois périodes d'évaluation.

Selon la période considérée, les gains en termes de temps passé et distance parcourue varient respectivement entre 3.5% à 6.2%, et 2% à 5.1%. Pendant le pic du matin, période au cours de laquelle les congestions sont le plus sévères, on observe les gains les plus importants. En effet la vitesse moyenne généralisée est améliorée de 22%. Le résultat marquant concerne la distance parcourue. En effet, lors des expérimentations précédentes de régulation d'accès, des gains relativement faibles (entre 0 et 2% maximum) sont obtenus. Or, dans cette évaluation on obtient un gain de 5.1%. L'explication de ce gain important prend ses sources dans l'utilisation simultanée et combinée des GMA (Glissières Mobiles d'Affectation) et de la régulation d'accès.

6h30-10h30		Critères	SC	ALINEA	Gain (%)
Axe A4W	TP(vh*h)		7363	7078	-3.9
	DP(vh*km)		297830	312901	5.1
	Vmoy(km/h)		40.4	49.5	22.4
	CONS(lit)		4324	4021	-7.0
	HC(kg)		799213	800211	0.1
	CO(kg)		2967729	2914108	-1.8
15h00-20h00		Critères	SC	ALINEA	Gain (%)
Axe A4W	TP(vh*h)		5475	5135	-6.2
	DP(vh*km)		342510	349143	1.9
	Vmoy(km/h)		62.6	68.0	8.7
	CONS(lit)		4166	3891	-6.6
	HC(kg)		739520	727075	-1.7
	CO(kg)		2485067	2394899	-3.6
6h30-20h00		Critères	SC	ALINEA	Gain (%)
Axe A4W	TP(vh*h)		16617	16027	-3.5
	DP(vh*km)		923558	942287	2.0
	Vmoy(km/h)		55.6	58.8	5.8
	CONS(lit)		11892	10912	-8.2
	HC(kg)		2105302	2092391	-0.6
	CO(kg)		7275517	7135767	-1.9

Tableau 2. A4W : Critères trafic

##### B. Analyse qualitative et quantitative des résultats sur A4Y

Les résultats présentés ci-dessous correspondent à la moyenne d'un échantillon de jours correspondants à 30 jours pour le cas

sans contrôle et 41 jours pour ALINEA. Sur cet axe, trois accès sont équipés pour la régulation d'accès localisé au PR 1. (D50), PR8.4 (D45) et PR 14.5 (D194). Cependant, lors de l'expérimentation uniquement deux accès : D50 et D194 ont été opérationnel. La cartographie des congestions est représentée par la Figure 5, pour les deux modalités : Sans Contrôle et ALINEA.

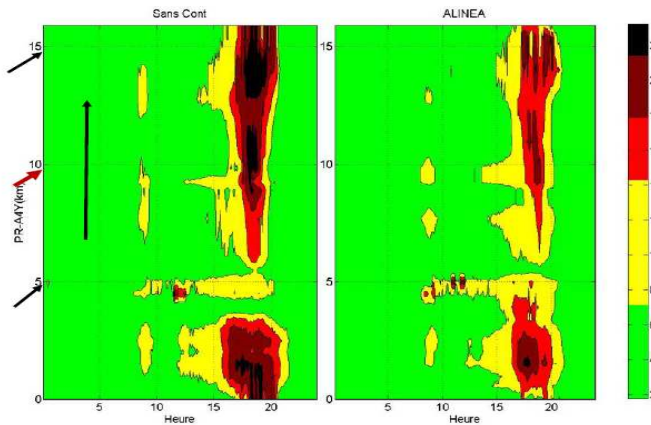


Figure 5. A4Y : Cartographies des congestions : Sans contrôle et ALINEA

Pendant le pic du matin, cet axe est fluide (To moyen < 15%). En revanche, à partir de 16h (pic du soir), la circulation devient dense puis congestionnée. On constate que qualitativement, la mise en place d'ALINEA a réduit d'une manière notable le niveau des congestions. La Figure 6 indique l'évolution temporelle pendant la journée moyenne des deux indices : Temps Passé et Distance Parcourue pour les deux stratégies : Sans contrôle et ALINEA. On constate que pour ALINEA, les critères Temps Passé et Distance parcourue sont améliorés.

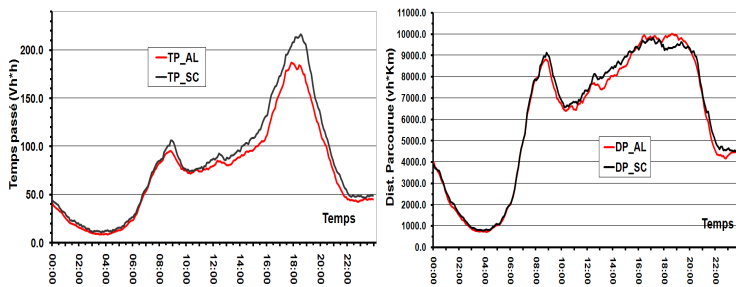


Figure 6. A4Y. Temps Passés et de distance parcourue

Concernant le niveau de demande pour chaque modalité, on observe qu'elles sont identiques comme c'est indiqué dans la Figure 6. En effet, pendant la tranche horaire 5h-6h30, les deux courbes de la distance parcourue sont superposées.

Les gains obtenus sont indiqués dans les trois tableaux ci-dessous couvrants les trois périodes de la journée. Sur la période 6h30-20h00, les gains obtenus du Temps Passé dans le système sont d'environ 10%. Cependant, pendant le pic du matin, la vitesse moyenne généralisée est d'environ 90 km/h, ce qui traduit un état de trafic fluide. Par conséquent, ALINEA est le plus souvent inactif. En revanche, pendant le pic du soir, ALINEA est très actif. Ce qui se traduit par des gains d'environ 13% sur le Temps Passé, 2% sur la Distance Parcourue et de 17% sur la Vitesse moyenne (+10km/h).

6h30-20h00	Critères	SC	ALINEA	Gain (%)
Axe A4Y	TP(vh*h)	15749	14198	-9.8
	DP(vh*km)	1117900	1104560	-1.2
	Vmoy(km/h)	71.0	77.8	9.6
	CONS(lit)	11397	11327	-0.6
	HC(kg)	2286395	2177352	-4.8
	CO(kg)	7453230	6941869	-6.9

6h30-10h30	Critères	SC	ALINEA	Gain (%)
Axe A4Y	TP(vh*h)	3254	3088.2	-5.1
	DP(vh*km)	291933	284394	-2.6
	Vmoy(km/h)	89.7	92.3	2.9
	CONS(lit)	2835	2812	-0.8
	HC(kg)	545569	526563	-3.5
	CO(kg)	1680236	1611437	-4.1

15h-20h00	Critères	SC	ALINEA	Gain (%)
Axe A4Y	TP(vh*h)	8545	7439	-12.9
	DP(vh*km)	482082	490935	1.8
	Vmoy(km/h)	66.4	66.0	17.0
	CONS(lit)	5257	5328	1.3
	HC(kg)	1091209	1035440	-5.1
	CO(kg)	3757794	3435126	-8.6

Tableau 3. A4Y : Critères trafic

### C. Analyse qualitative et quantitative des résultats sur A86I

Parmi tous les axes considérés, l'axe A86I est le plus long (24 km) et le plus chargé en trafic. Il est aussi le mieux équipé en termes de contrôleurs d'accès. On distingue six accès repartis sur la partie Nord et Sud de l'A86I. On compte 4 accès successifs et opérationnels sur la partie centrale au voisinage du tronc du commun A4/A86. Les deux accès restants sont localisés sur la partie Nord et Sud.

La Figure 7 indique la cartographie des congestions de la journée moyenne des deux échantillons sélectionnés pour les deux modalités : sans contrôle et ALINEA. Pour les deux modalités, on observe deux congestions distinctes : congestions Nord et Sud avec une étendue différenciée pendant le pic du matin et du soir. En effet, l'étendue de la congestion du matin est nettement plus importante que celle du pic du soir.

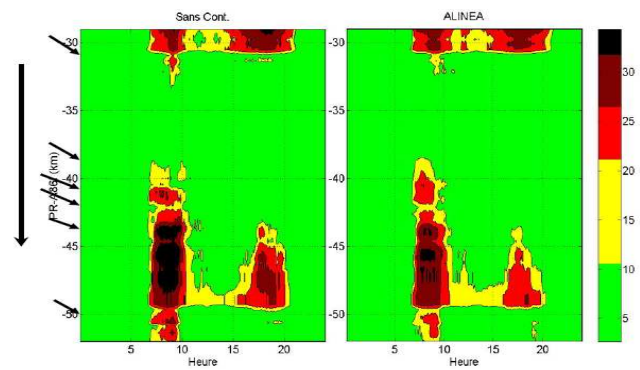


Figure 7. A86I : cartographie des congestions

La tête du bouchon Sud démarre au PR 52 puis la congestion se propage sur la partie Nord d'A86I jusqu'au tronc commun A4/A86I. Pour la partie Nord, la tête du bouchon est localisée au niveau de la D42 (PR 30) puis elle se propage au Nord. En revanche pendant le pic du soir, les deux congestions Nord et Sud sont toujours localisées au même endroit mais avec un étendu et une sévérité nettement plus faible que celle du matin. Afin de minimiser la congestion Sud, on dispose de 5 accès régulés alors que pour la partie Nord, un seul accès est opérationnel (D42).

En comparant les deux cartographies des congestions des deux modalités, on observe qu'avec ALINEA, le niveau de congestion dans le Nord et Sud (surface noire), est nettement plus faible que celle du sans contrôle. Ce constat est confirmé

par l'évolution temporelle du temps passé indiquée par la Figure 8. On remarque que, par rapport au sans contrôle et pendant le pic du matin et du soir la courbe d'évolution du temps passé pour ALINEA est constamment en dessous.

temps passé et distance parcourue. En particulier, avec ALINEA, la distance parcourue est constamment supérieure à celle du sans contrôle.

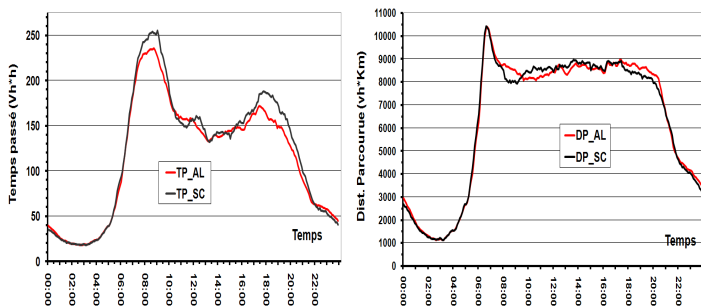


Figure 8. A86I : Evolution temporelle du Temps Passé et de la Distance Parcourue Totale

Les tableaux ci-dessous indiquent les résultats obtenus pour les trois périodes d'évaluation respectives. Avec la stratégie ALINEA, les gains varient entre 5% et 8% selon la période de la journée. Le gain maximum de 8% est obtenu pendant le pic du soir. En revanche, pendant le pic du matin siège de forte congestion, la distance parcourue et la vitesse moyenne sont améliorées respectivement de 1.5% et 17%. Concernant les émissions de polluants, la stratégie ALINEA a permis de les réduire d'environ 5% en moyenne.

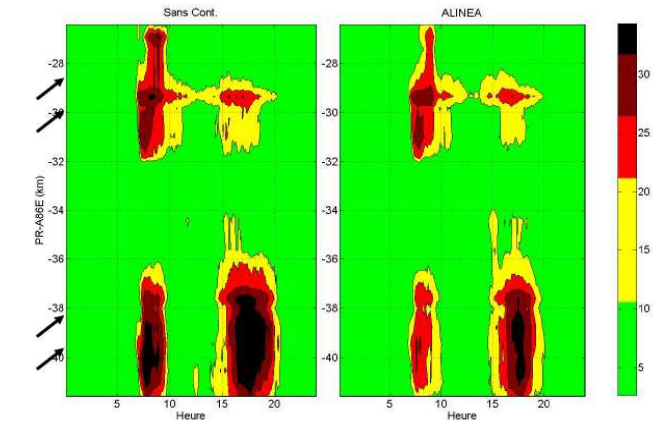


Figure 9. A86E : cartographies des congestions

6h30-20h00	Critères	SC	ALINEA	Gain (%)
AXE A86I	TP(vh·h)	23767	22549	-5.1
	DP(vh·km)	1173561	1176701	0.3
	Vmoy(km/h)	49.4	52.2	5.7
	CONS(lit)	14556	14969	2.8
	HC(kg)	2834320	2764978	-2.4
	CO(kg)	10067096	9696584	-3.7
6h30-10h30	Critères	SC	ALINEA	Gain (%)
AXE A86I	TP(vh·h)	8827	8336	-5.6
	DP(vh·km)	355193	360372	1.5
	Vmoy(km/h)	40.2	46.9	16.6
	CONS(lit)	4677	4793	2.5
	HC(kg)	955826	932602	-2.4
	CO(kg)	3553181	3412995	-3.9
15h-20h00	Critères	SC	ALINEA	Gain (%)
AXE A86I	TP(vh·h)	8459	7772	-8.1
	DP(vh·km)	435398	441933	1.5
	Vmoy(km/h)	51.5	56.9	10.5
	CONS(lit)	5437	5611	3.2
	HC(kg)	1029997	996626	-3.2
	CO(kg)	3623601	3425694	-5.5

Tableau 4. A86I : Critères trafic

#### D. Analyse qualitative et quantitative des résultats sur A86E

La section considérée démarre du PR24 au PR42 soit une longueur totale d'environ 18 km. L'évaluation a porté sur un échantillon de 32 et 45 jours pour respectivement le sans contrôle et ALINEA. La Figure 9 représente la cartographie des congestions pour les deux modalités.

Comme sur l'axe A86I, on observe deux congestions distinctes au Nord et au Sud. En revanche, on remarque que la congestion pendant le pic du soir est nettement plus étendue dans le temps et l'espace que celle du matin. En outre, les 4 accès régulés sont bien localisés au niveau des bouchons Nord et Sud (cf. Figure 9).

Comparé au sans contrôle, on constate qu'ALINEA diminue d'une manière significative la durée et l'étendue des deux congestions Nord et Sud. Cette remarque est confirmée par la Figure 10 qui inclut l'évolution temporelle des deux critères :

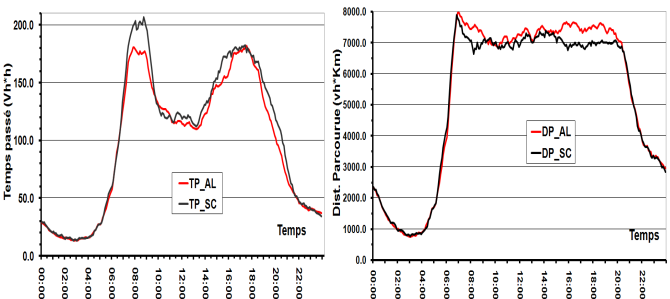


Figure 10. A86E : Evolution temporelle du Temps Passé et de la Distance Parcourue Totale

6h30-20h00	Critères	SC	ALINEA	Gain (%)
AXE A86E	TP(vh·h)	20523	19344	-5.7
	DP(vh·km)	958860	1000369	4.3
	Vmoy(km/h)	46.7	51.7	10.7
	CONS(lit)	13054	13707	5.0
	HC(kg)	2381999	2361064	-0.9
	CO(kg)	8567441	8297390	-3.2
6h30-10h30	Critères	SC	ALINEA	Gain (%)
AXE A86E	TP(vh·h)	6677	6179	-7.5
	DP(vh·km)	290655	299757	3.1
	Vmoy(km/h)	43.5	53.0	21.7
	CONS(lit)	4076	4148	1.8
	HC(kg)	749393	730446	-2.5
	CO(kg)	2738306	2604921	-4.9
15h00-20h00	Critères	SC	ALINEA	Gain (%)
AXE A86E	TP(vh·h)	8362	7872	-5.9
	DP(vh·km)	355288	380724	7.2
	Vmoy(km/h)	42.5	48.4	13.8
	CONS(lit)	5063	5426	7.2
	HC(kg)	928068	929197	0.1
	CO(kg)	3409395	3316027	-2.7

Tableau 5. A86E : Critères trafic

Dans le tableau 5, sont reportées les valeurs des critères d'évaluation pour chaque période. Le résultat marquant est le gain obtenu pour le critère distance parcourue sur l'ensemble de la journée. Ce critère est amélioré d'environ 5%. Pendant le pic du soir, période de forte congestion, ce gain passe à environ 8%. Ce gain important de la distance parcourue est due à l'effet conjugué de la régulation et les GMA. Bien entendu, l'augmentation du nombre de véhicules servis a une répercussion immédiate sur les critères tels que la consommation et les émissions de polluants. En effet, pendant le pic du soir, ces critères sont légèrement dégradés.

## E. Validation du Critère du Risque

Avant de calculer le critère du risque en utilisant les données réelles, il impératif de la valider sur des accidents réels. La Figure 11.a et la Figure 11.b indiquent la validation du critère développé par l'INRETS [4], Elles représentent l'évolution temporelle de l'indice du risque calculé sur respectivement A86I et A86E dans le cas de deux accidents réels distincts. Ce qui permet d'estimer la sécurité d'écoulement du trafic et ainsi de quantifier le risque potentiel d'accident.

On constate que pour les deux accidents, l'indice du risque augmente juste avant l'occurrence de l'accident.

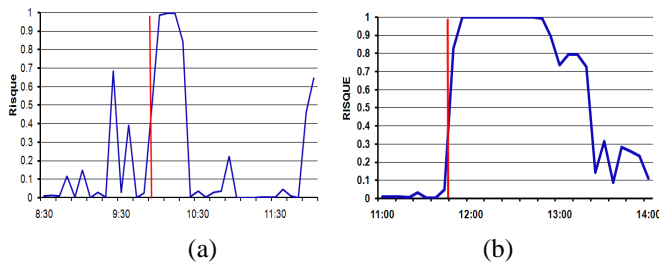


Figure 11. (a) Accident sur A86I au PR46 à 9h57  
(b) Accident sur A86E au PR30 à 11h45

Comme c'est indiqué dans la section critère d'évaluation, le temps de parcours est basé sur l'utilisation de l'algorithme du véhicule fictif. Ce calcul est basé sur les vitesses mesurées et/ou estimées. Donc, c'est un temps de parcours prévu et non instantané. Le tableau 6 récapitule le calcul des temps de parcours pour tous les axes A4W, A4Y, A86I et A86E. Par ailleurs, les résultats du calcul de l'indicateur du risque d'accident sont inclus. Concernant l'indicateur temps de parcours, on remarque qu'avec ALINEA le gain est amélioré (environ 14%) pendant le pic du matin. Concernant le critère du risque, le calcul de l'indice du risque indique une nette amélioration pour la stratégie ALINEA (environ 15%) du risque d'accident. Sur l'axe A4Y, l'amélioration du temps de parcours avec ALINEA est importante pendant le pic du soir. Cette période correspond à l'activation continue d'ALINEA. En revanche pendant le pic du matin, compte tenu du trafic fluide, les gains obtenus sont non significatifs. Avec la stratégie ALINEA, le risque d'accident sur A4Y est diminué de moitié environ. Pour l'axe A86I, sur toute la journée on observe un gain moyen du temps de parcours de la totalité de l'axe A86I d'environ 10%. Cependant, pendant le pic du matin, ce gain passe vers 16%. On remarque aussi sur l'axe A86E qu'avec la stratégie ALINEA une diminution notable du temps de parcours. En particulier, pendant la période la plus congestionnée (pic du soir), on constate les gains les plus importants (22%).

## CONCLUSION

Les résultats décrits dans cet article montrent l'efficacité de la stratégie ALINEA pour la régulation d'accès sur la partie Est des autoroutes de l'Ile de France. Ces résultats marquants peuvent être déclinés comme suit :

- Quel que soit l'axe considéré, la régulation d'accès isolée et adaptative ALINEA a un impact positif sur le trafic et varie selon la période et l'axe considéré. On note une diminution du temps passé entre 3% et 15%, une augmentation de la distance

6h30-21h:00	Sans		ALINEA		GAIN (%)	
	Temps parcours	Risque d'accident	Temps parcours	Risque d'accident	Temps parcours	Risque d'accident
AXE A4W	725	0.651	669	0.562	7.7	13.7
AXE A4Y	695	0.940	621	0.587	10.7	37.5
AXE A86I	1445	1.45	1309	1.347	9.4	7.7
AXE A86E	1073	1.188	893	0.961	16.8	19.1

(a)

6h30-10h:00	Sans		ALINEA		GAIN (%)	
	Temps parcours	Risque d'accident	Temps parcours	Risque d'accident	Temps parcours	Risque d'accident
AXE A4W	1069	1.248	925	1.050	13.5	15.9
AXE A4Y	588	0.327	566	0.289	3.8	11.6
AXE A86I	1948	1.729	1647	1.431	15.4	17.2
AXE A86E	1177	1.259	949	1.026	19.4	18.5

(b)

15h00-21h:00	Sans		ALINEA		GAIN (%)	
	Temps parcours	Risque d'accident	Temps parcours	Risque d'accident	Temps parcours	Risque d'accident
AXE A4W	651	0.611	606	0.515	7.0	15.7
AXE A4Y	865	1.737	696	0.964	19.5	44.5
AXE A86I	1341	1.631	1218	1.469	9.2	10
AXE A86E	1245	1.762	969	1.376	22.2	21.9

(c)

Tableau 6. Résultat du calcul des temps de parcours moyens et les risques d'accident pour les trois périodes

parcourue entre 2% et 12% et de la vitesse moyenne entre 12% et 20%.

- En utilisant le critère du risque, développé récemment par l'INRETS, on constate une amélioration de la sécurité. Le critère du risque est amélioré en moyenne de 20%.

- La consommation en carburant et les émissions de polluants reposent sur une connaissance parfaite du parc de véhicules circulant sur le réseau ce qui est en réalité impossible mais l'utilisation de même critère pour les deux cas, avec ALINEA et sans Contrôle, nous a permis d'observer, par comparaison, une amélioration moyenne comprise entre 1% et 30%. Les formules utilisées dépendent des deux critères fondamentaux qui sont le temps passé et la distance parcourue. Cependant, on constate que l'amélioration de la distance parcourue augmente naturellement la consommation et l'émission de polluant.

Une fois de plus, la stratégie de régulation d'accès isolée ALINEA a amélioré sensiblement les conditions de circulation sur toutes les composantes du réseau considéré. Compte tenu des résultats positifs et encourageants, la généralisation complète peut être entamée.

## REFERENCES

- [1] Haj Salem, H., Boukhni, M., « Evaluation de la régulation d'accès généralisée sur la partie est de l'île de France. Rapport de Convention INRETS/DIRIF N° 07-23, Mars 2009.
- [2] Haj-Salem, H., Papageorgiou, M. "Ramp Metering Impact on Urban Corridor Traffic : Field Results". Transportation Research -A. Vol 29A, No.4, pp 303-319,1995
- [3] Haj-Salem, H., Blossville, J.-M., Papageorgiou, M. "ALINEA - A Local Feedback Control Law for on-ramp metering: A real life study". 3rd IEE Intern. Conf. on Road Traffic Control, London, U.K., pp.194-198,1990
- [4] Haj-Salem H. « Étude en Simulation de la Régulation d'accès généralisée sur l'IDF », rapport de convention INRETS/SIER, 2001.
- [5] Jurvillier, J.C. "Simulation de temps de parcours et modèle de consommation sur une autoroute urbaine ». Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, DART, Arcueil, France, 1982 .
- [6] INRESPONSE: Deliverable WP9-D91, « Evaluation Plan and Methodology », Projet Européen TR1030, 1998.
- [7] ADEME, « Émission de Polluants et consommation liée à la circulation routière- Paramètres déterminant et méthodes de quantification », "connaître pour agir, guide et cahiers techniques". Edition ADEME, Paris. 112 p.