

REACTIONS DES CONDUCTEURS VIS-À-VIS DES DIFFERENTS APPORTS D'INFORMATION SUR LES AUTOROUTES URBAINES

A.TSYGANOV

Center for Transportation Research, University of Texas at Austin, USA

TSYGANOV@MAIL.UTEXAS.EDU

R.MACHEMEHL

Department of Civil, Architectural, and Environmental Engineering, University of Texas at
Austin, USA

rbm@mail.utexas.edu

Traduit par Frédéric Pegna

ABSTRACT

Un des éléments importants qui contribue aux accidents routiers sont les erreurs de calcul des conducteurs causées par un mauvais traitement de l'information. Une quantité d'information insuffisante ou excessive augmente la charge de travail du conducteur, et peut avoir pour conséquence un comportement dangereux au volant.

Toutes les sources d'information impliquant différentes obligations de conduite, ont été mises dans des catégories ; « Autoroute » - comprenant aussi le plan de la chaussée, « Signalisation » - décrivant le système pour le maniement de la circulation, et « Circulation » - qui caractérise l'impact des autres véhicules.

En se basant sur les principes de la gestion de l'information chez les êtres humains et aussi sur une enquête a propos des autoroutes des grandes métropoles du Texas, des critères ont été établis et des combinaisons typiques ont été identifiées pour quantifier les sources d'information déjà mentionnées.

Pour établir si une relation existait entre l'apport d'information reçu par le conducteur et les taux d'accidents, plus de quatre-vingt mille accidents se produisant sur des autoroutes urbaines ont été comparés en tenant compte de l'apport d'information transmis.

Par la suite, plusieurs essais avec un véhicule équipé d'une instrumentation spéciale ont été conduits sur des autoroutes urbaines représentatives des différents apports d'information. En examinant la variation de la vitesse automobile, la fréquence de freinage intense, les rythmes cardiaques, les mouvements des yeux et en prenant aussi en considération les statistiques sur les accidents, la nature et les différentes dimensions de l'information autoroutière provoquant une réponse anormale du conducteur ont été identifiées.

1. LES EPREUVES DE CONDUITE ET LES SOURCES D'INFORMATION

La conduite est une épreuve complexe, impliquant des habiletés spécifiques, dont la plus importante est l'acquisition et l'évaluation des informations pertinentes, suivie d'une décision appropriée et prise à temps. A partir de là, le concept de direction positive («Positive Guidance, PG») est un outil qui permet une certaine compréhension des informations dont le conducteur a besoin, et de la manière dont celles-ci lui sont transmises [1]. Le concept PG conçoit la conduite comme un moyen d'évaluer l'habileté de perception motrice et reconnaît trois niveaux de performances : le contrôle, la direction, et la navigation.

Le niveau de contrôle reflète la performance telle qu'elle est, par rapport à l'interaction du conducteur avec son véhicule, son maniement de la vitesse, du trajectoire, et de la décision prise au volant, sur les pédales de l'accélérateur et des freins. A ce niveau, le conducteur obtient des informations grâce à l'instrumentation de bord et en observant l'évolution de son environnement.

Le niveau de la direction reflète la performance du conducteur directement liée au choix et au maintien d'un trajet et d'une vitesse. Le conducteur observe et analyse son environnement, et en profitant de ses évaluations, estimations et prédictions, réagit par conséquent avec les changements perçus et exécute les actes de contrôle nécessaires pour ajuster sa vitesse et la position de son véhicule. Les sources d'informations à ce niveau proviennent de : (1) La vitesse et position des autres véhicules, (2) les caractéristiques du design de la chaussée, et (3) la signalisation routière.

Le niveau de la navigation représente la planification et l'exécution d'un voyage de son point de départ jusqu'à son point d'arrivée. Un conducteur doit évaluer les informations provenant de la signalisation routière (numéro d'autoroute, nom de rue, etc.), son orientation (nord, sud, ouest, est, etc.), et les points clés de son chemin. Les sources d'informations sont les cartes routières, les panneaux de signalisation, les points de référence et son expérience antérieure.

L'information, relative à la conduite, peut donc être définie comme étant tous les objets dans le champ de vue du conducteur qui affectent la circulation automobile et qui exigent une analyse de la part du conducteur, dans le but d'une réaction appropriée. L'information peut comprendre les paramètres de la chaussée, les dispositifs du maniement de la circulation, l'environnement immédiat, et d'autres composantes de la circulation. Toutes les sources d'information peuvent être classées en trois groupes : la chaussée, la signalisation routière, et la circulation automobile elle-même.

Il est aussi nécessaire de prendre en considération le fait que de nombreux objets, n'ayant pas d'importance vis-à-vis de la circulation (telles que des affiches publicitaires), bordent les autoroutes urbaines, et peuvent distraire le conducteur ou être un arrière-plan non approprié pour la signalisation routière et donc prévenir la perception d'informations importantes.

2. LA CLASSIFICATION DU NIVEAU DE L'APPORT D'INFORMATION SUR LES AUTOROUTES URBAINES

La combinaison des différents types d'informations déjà énoncées représente la totalité des entrées d'informations disponibles pour le conducteur, et peut être représentée visuellement avec un schéma (Figure 1). Les sous-groupes sont organisés en ordre de complexité croissante (par exemple le sous-groupe 2.1 a constitué une charge d'information inférieure au sous-groupe 2.3, et les combinaisons de sous-groupes correspondent à un apport d'information inférieur au total.

Pour dépeindre les caractéristiques de chaque type de source d'informations sur une autoroute urbaine, une étude approfondie, sur le terrain, des grandes métropoles Texanes (Austin, Dallas, Fort Worth, Houston, et San Antonio) a été menée [2].

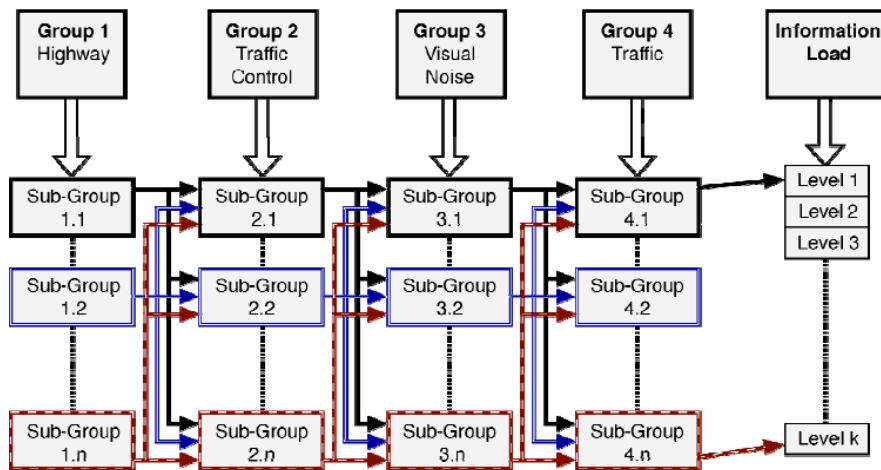


Figure 1 - Schéma représentatif de l'apport d'information autoroutière

La première catégorie de sources d'information a été nommée « Autoroute », ce qui comprenait des caractéristiques du design de la chaussée tel que l'alignement vertical et horizontal, le nombre de voies, la largeur des voies et de l'accotement, et les bretelles d'entrée et de sortie.

Des observations ont démontré que les autoroutes urbaines du Texas comprennent deux à six voies unidirectionnelles et que les caractéristiques de conception y sont représentées de manière uniforme et proportionnelle au nombre de voie de circulation. Le groupe «Autoroute» peut par la suite être divisé en plusieurs sous-groupes en ordre d'apport d'informations croissant ; (1) les autoroutes a 2 voies de même orientation, (2) les autoroutes a 3 ou 4 voies de même sens, et (3) les autoroutes a 5-6 voies de même direction.

La catégorie «Maniement du trafic» comprend la signalisation routière et les marques sur la chaussée. Les statistiques indiquant la fréquence de signalisation sur les autoroutes on indique que les signaux a but navigateur étaient sur-représentés, tandis que les autres types de signalisation (tels que les signaux d'avertissements statiques et dynamiques), étaient sous-représentés, avec quelques petites variations.

Du fait de leur prépondérance sur les autoroutes urbaines, de leur effet crucial sur les facultés de conduite à haute vitesse, de la nature uniforme de l'information et de l'entrée sous-entendue constante d'informations venant des marques sur la chaussée, la fréquence moyenne des panneaux de navigation a été choisi comme critère représentatif pour regrouper les sous-groupes dans le catégorie «Maniement du trafic».

Puisque la vitesse avec laquelle l'information est perçue est d'une si grande importance, le nombre de signaux par unité de distance a été ignoré en faveur du nombre de signaux par unité de temps, calculée à partir de la limite de vitesse.

Des analyses statistiques ont indiqué que les groupes d'autoroutes se différençaient par la fréquence de signalisation. En prenant en compte les seuils de la perception humaine, et la variation observée chez la fréquence des signaux autoroutiers, la catégorie «Maniement du trafic» a été divisé en trois sous-groupes utilisant le 33ième percentile comme critère de classification avec présomption. La distribution observée de fréquences de signalisation indique que pour les autoroutes a 2 voies, le 33ième percentile est de 0,14 panneaux par seconde, pour les autoroutes a 3 et 4 voies, il est de 0,15 panneaux

par seconde, et pour les autoroutes a 5 et 6 voies, il est de 0,20 panneaux par seconde, tandis que les 66ieme percentiles étaient respectivement de 0,18, 0,21, et 0,24. En valeurs absolues, ceci se traduit par trois à quatre panneaux par kilomètre d'autoroute, dans une zone limitée à 96 km/h (60mph) pour chaque sous groupe. Dans chaque catégorie d'autoroute, le groupe «Maniement du trafic» devrait donc être divisé en trois sous-groupes, en se basant sur les critères 'bas-haut' avec des valeurs déjà établies : (1) basse fréquence de signaux (moindre ou égale au 33ieme percentile, (2) fréquence moyenne (supérieure au 33ieme percentile mais moindre ou égale au 66ieme), et (3) haute fréquence de signaux (supérieure au 66ieme percentile).

La catégorie «Distractions Visuelle» se définit par l'effet des objets qui longent la route et qui peuvent distraire le conducteur, mais qui n'ont aucun lien avec la circulation, ou servent simplement d'arrière-plan non approprié pour la signalisation routière et nuisent à la perception d'autres informations importantes. Ce groupe peut inclure des panneaux commerciaux (dynamiques ou statiques), des œuvres d'art ou d'architecture, ou le paysage. Les observations qui ont été menées ont montré que la concentration maximum de tels objets peut atteindre jusqu'à 20 objets par kilomètre, et en moyenne peut comprendre entre 3 et 8 objets par kilomètre d'autoroute. En concordance avec les méthodes utilisées au préalable pour la signalisation routière, l'intensité visuelle a été mesurée par le nombre d'objets par seconde. La 33ieme percentile de la fréquence de distractions visuelles était, pour les autoroutes a 2 voies, de 0,05 objets par seconde, pour les autoroutes a 3 ou 4 voies de 0,09 objets par seconde, et pour les autoroutes a 5 ou 6 voies de 0,10 objets par seconde tandis que le 66ieme percentile était respectivement de 0,12, 0,19, 0,24. D'après les valeurs mentionnées, le groupe «Distractions Visuelle» à été divisé en trois sous-groupes : (1) basse intensité (équivalent ou moindre au 33ieme percentile), (2) intensité moyenne (supérieure au 33ieme percentile et équivalent ou moindre au 66ieme percentile), et (3) haute intensité (supérieure au 66ieme percentile).

Les différentes combinaisons des trois catégories décrites représentent les différents regroupements fondés sur le design de la chaussée, la signalisation routière et les distractions visuelles. Ils servent de points déterminants pour classifier les différentes sections d'autoroute et contiennent un total de 27 niveaux de charge d'information, ainsi représentés dans le tableau numéro 1.

Tableau 1 - Graphique démonstratif des apports d'information.

Autoroutes	Niveau de fréquence de signalisation								
	Bas			Moyen			Haut		
	Intensité de distractions visuelles								
	Bas	Moyen	Haut	Bas	Moyen	Haut	Bas	Moyen	Haut
Catégorie d'apport d'information									
2 Voies	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3-4 Voies	10	11	12	13	14	15	16	17	18
5-6 Voies	19	20	21	22	23	24	25	26	27

Ces regroupements de niveaux d'apport d'information sont fondés sur l'intensité des différentes sources d'information, utilisant des critères de hauteur pour comparaison et sont arrangés en ordre de complexité croissante (le niveau 1 à un apport d'information moins important que le niveau 3 par exemple). La quantification de l'information a pour conséquence la présomption logique que le plus d'objets perçus correspondra au plus d'informations apportées. Les regroupements d'apport d'information établis ne tiennent pas en compte, malgré tout, de l'élément le plus important : l'effet des autres véhicules.

La catégorie «Circulation» regroupe les effets des autres véhicules sur l'apport d'information. Il est évident que le comportement des autres conducteurs est l'élément le

plus important du fait de sa nature incertaine et des conséquences possibles telles que les incidents. Puisque l'attention du conducteur se concentre surtout sur les véhicules qui l'entourent, le volume du trafic peut donc servir de bonnes caractéristiques décrivant l'effet qu'ont les autres véhicules sur l'apport d'information.

Chaque conducteur a très peu d'interaction avec les autres composants de la circulation lorsque le volume du trafic est négligeable. L'agilité du véhicule est peu -ou pas- contrainte par la présence des autres véhicules. Ces conditions reflètent donc l'effet minimal de la circulation dans l'apport d'information générale. Lorsque le volume du trafic devient plus important, la densité croissante des véhicules affaiblit la capacité de gestion des interactions du conducteur avec les autres véhicules et l'oblige à observer les autres véhicules avant de choisir sa vitesse, changer de voie ou doubler. Si on considère que la vitesse de circulation générale ne change pas, le nombre de sources d'information devient plus important pour chaque unité de temps. Lorsque la circulation est condensée, le conducteur ne peut percevoir qu'une quantité limitée de véhicules ; continuer de condenser la circulation ne fera pas croître le nombre de sources d'information. Le ralentissement de la vitesse de circulation générale aura comme résultat une diminution de l'apport d'information.

De nombreuses études faites sur la circulation automobile –et résumées dans le Manuel de la Capacité des Autoroutes- (Highway Capacity Manual, HCM), indiquent que sur des autoroutes urbaines à plusieurs voies, un volume de 700 pyphpl caractérise l'écoulement libre et que la vitesse de circulation tend à décroître quand le volume dépasse les 1500 pyphpl [3]. Il est donc raisonnable de prendre ces valeurs comme seuil pour la classification du groupe «Circulation».

Divers critères peuvent être utilisés pour évaluer les niveaux établis d'apport d'information.

Le premier critère, que l'on peut nommer « Fréquence d'accidents», se base sur l'idée qu'un apport d'information plus important contribue à une probabilité d'erreur substantielle et entraîne par la suite une probabilité d'accident plus importante. Une analyse statistique des accidents sur plusieurs années a été choisie pour ce stade évaluateur et avait pour but d'étudier les possibilités que différents apports d'information correspondent à certaines fréquences d'accident.

L'absence de collision ne garantit pas le manque de conditions dangereuses dans la circulation ou un comportement acceptable chez les autres conducteurs, qui peuvent parfois provoquer une collision. Il a donc été décidé que le critère de comportement normal, qui ne provoque pas de conflits, était plus apte à décrire la sécurité par rapport au critère de manque de collisions. Le critère d'un comportement normal est défini comme étant l'absence de conditions de circulation systématiquement dangereuses ou de comportement inacceptable [4]. Dans ce cas, les chercheurs peuvent identifier et regrouper, en se fondant sur des analyses de comportement de circulation, les situations qui peuvent mener à des collisions et proposer des mesures d'amélioration ou de résolution. Donc à la prochaine étape, les réactions psychophysiologiques et de comportement ont été étudiées à chaque niveau d'apport d'information obtenu par la méthode déjà décrite.

3. ANALYSE DES STATISTIQUES D'ACCIDENTS ROUTIERS

Aux fins de cette étude, la banque de données (des accidents routiers) de l'ensemble du Texas, provenant du département de la Sécurité Publique du Texas (Texas Department of Public Safety ; TxDPS), a été utilisée. Les données étaient composées du jour, de l'heure, de la gravité, du type, de la manière dont cela s'était produit, de la location, de la luminosité, de la signalisation routière de l'endroit et de l'état de la chaussée. Les données ont montré que dans le système autoroutier du Texas il y avait eu 311 701 accidents en 1999, 318 990 en 2000, et 323 958 en 2001.

A partir de la banque de données générales, des statistiques issues d'un échantillon d'autoroutes venues de la banque de données des autoroutes urbaines du Texas (TUFD) ont été établies ; celles-ci décrivaient en détail les caractéristiques de l'autoroute. Les échantillons représentaient les 27 niveaux d'apport d'information. Un total de 86 864 accidents on eu lieu sur l'échantillon d'autoroute choisi.

Une nouvelle série de données pour les 254 sections d'autoroute choisies a été établie. Elles incluent la longueur et la moyenne du volume de la circulation quotidienne pour chaque année, le nombre de voies, la fréquence de signalisation, la fréquence de distractions visuelles, et les données relatives aux accidents pendant les années 1999, 2000 et 2001.

À titre d'analyse comparative des statistiques d'accidents sur différentes sections d'autoroute, le taux d'accident, soit le nombre d'accidents par million de milles traversés en automobile (MTA), a été utilisé.

Cette première analyse se concentrait sur une comparaison générale entre les fréquences d'accidents sur les sections d'autoroute, et leur niveau d'apport d'information. Le tableau numéro 2 représente les caractéristiques de la distribution statistique du taux d'accidents.

Les données montrent que la fréquence d'accidents augmente selon le nombre de voies. Le taux d'accidents le plus important a été observé sur les autoroutes avec 5 ou 6 voies. Sur de telles autoroutes, il y a eu en moyenne 1,19 accidents par million de MTA, suivi par les autoroutes à 3 ou 4 voies (0,87 accidents par million de MTA) et les autoroutes à 2 voies (0,74 accidents par million de MTA).

Tableau 2 - Statistiques de la proportion des accidents par groupe d'autoroute et par fréquence de la signalisation

Autoroutes	Totalité		Fréquence de Signalisation					
			Bas		Moyen		Haut	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
Taux D'accidents, par million de milles parcourus								
2 Voies	0.75	0.36	0.5	0.26	0.81	0.32	0.88	0.43
3-4 Voies	0.87	0.47	0.7	0.41	0.84	0.45	1.11	0.46
5-6 Voies	1.19	0.98	1.6	1.21	1.09	0.81	0.64	0.4

Une analyse statistique a indiqué une différence significative entre les différents sous-groupes observés, variant de 0,5 à 0,95. Les autoroutes à 5 ou à 6 voies avaient les variations les plus importantes à tous les niveaux de fréquence de signalisation par rapport aux autres groupes. Les données montraient qu'à de basse et moyenne fréquences de signalisation, le taux d'accident croissait selon le nombre de voies tandis que, lors de hautes fréquence de signalisation, les autoroutes avaient le taux d'accident le plus bas.

L'ensemble de données suivant est orienté vers la possibilité d'une relation entre la fréquence de signalisation et le taux d'accidents. Le tableau numéro 2 représente le taux d'accidents sur des sections d'autoroutes qui peuvent être caractérisées par de différents niveaux de fréquence de signalisation et ce, à tous les niveaux d'intensité de distraction visuelle.

Les données montrent que sur des autoroutes à 2, 3 et 4 voies, le taux d'accident augmente avec la fréquence de signalisation, tandis que sur les autoroutes à 5 ou 6 voies, la fréquence de signalisation correspond à une baisse du taux d'accidents. Les valeurs du coefficient de corrélation par rang Spearman pour les paramètres observés étaient de +0,38, +0,43, et -0,25 pour les catégories d'autoroute mentionnée, et permettent ainsi de conclure qu'une corrélation existe réellement.

L'analyse qui a été faite permet une quantification de l'intensité de signalisation qui correspond au taux d'accidents minimum. Sur les autoroutes à 2, 3 ou 4 voies, le taux d'accident minimum a été observé à une intensité de signalisation respectivement de moins de 0,14 et 0,15 panneaux par seconde. Sur les autoroutes à 5 ou 6 voies, le taux d'accident minimum a été observé à une intensité supérieure à 0,25 panneaux par seconde. D'après la limite de vitesse la plus répandue sur les autoroutes Texane, 60 mph (97 km/h), ces valeurs correspondent à 9, 10 et 15 panneaux par mille (soit 5,6, et 10 panneaux par kilomètre). Le taux d'accident augmente sur les autoroutes de petite taille (2, 3 ou 4 voies) avec plus de signalisation, ce qui provoque l'hypothèse que davantage d'informations sur de telles autoroutes provoque une surcharge des capacités du conducteur. Une hypothèse contraire peut être suggérée pour les grandes autoroutes (5 à 6 voies), où une basse fréquence de signalisation semble correspondre à un amoindrissement de la charge des capacités du conducteur.

En poursuivant l'analyse des données et en examinant l'intensité des distractions visuelles, le petit échantillonnage d'autoroutes à 2, 3 ou 4 voies ne permettait pas de conclusions. Pour les autoroutes à 3 ou 4 voies, l'analyse indiquait une hausse significative du taux d'accidents qui concordait avec une hausse de l'intensité des distractions visuelles. À de basses fréquences de signalisation, la hausse observée était en moyenne de 0,47 à 0,93 accidents par million de MTA, tandis qu'à de moyennes fréquences, ces mêmes valeurs augmentaient de 0,62 à 1,14 accidents par million de MTA.

L'analyse de la banque de données sur les accidents contient aussi des détails de la manière dont l'accident a eu lieu, le nombre de véhicules impliqués, et la gravité de l'accident. Ces fréquences ont été comparées à tous les niveaux d'intensité de signalisation dans chaque groupe d'autoroute, tel qu'illustré dans les tableaux 3, 4 et 5.

En règle générale, le pourcentage d'accidents à l'arrière du véhicule varie très peu parmi les trois groupes d'autoroutes. Les autoroutes à 2 voies, par contre, ont un pourcentage significatif d'accidents impliquant l'arrière du véhicule qui ont lieu à de haute et moyenne fréquences de signalisation, avec le plus grand pourcentage d'accident à l'arrière du véhicule (44%) ayant lieu à des fréquences moyennes. Les autoroutes à 3 et 4 voies montrent une tendance affaiblie mais similaire chez les accidents à l'arrière du véhicule (4,2%) lorsque la fréquence de signalisation augmente, mais les autoroutes à 5 ou 6 voies ont une tendance opposée : le pourcentage de tels accidents diminue un peu (4,9%) lorsque la fréquence de signalisation augmente.

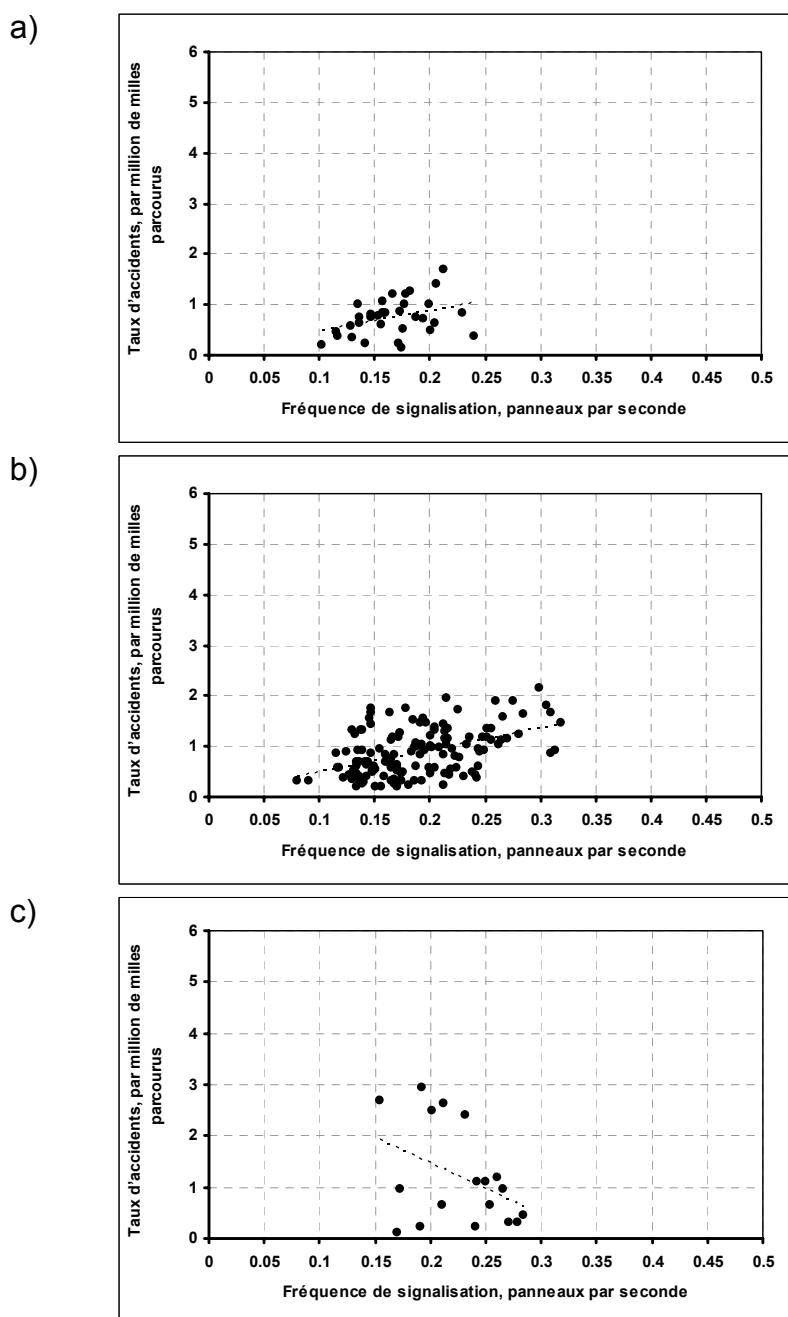


Figure 2 – Distribution de la proportion des accidents selon la fréquence de signalisation autoroutière pour les autoroutes à a) 2 voies, b) 3-4 voies et c) 5-6 voies.

Tableau 3 - Distribution des accidents par type d'accident.

Type d'accident	Nombre de voies	Pourcentage d'accidents a fréquence de signalisation							
		Totalité		Bas		Moyen		Haut	
		Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
A l'arrière du véhicule	2	37.32	15.44	28.11	11.49	44.01	17.19	35.39	11.00
	3-4	40.04	10.50	37.83	10.74	40.46	11.11	41.95	9.02
	5-6	38.86	13.08	41.86	15.61	35.92	11.72	36.99	11.40
D'angle et latéral	2	19.90	9.86	19.04	10.87	16.05	5.53	27.17	11.35
	3-4	26.58	7.76	27.29	9.70	27.90	6.66	23.90	6.15
	5-6	30.89	11.44	34.57	12.58	28.39	13.08	27.50	7.67
Objet fixe et retourne	2	32.68	14.70	42.93	14.65	29.47	13.97	27.76	11.98
	3-4	25.52	8.70	26.13	8.58	23.89	8.82	27.17	8.47
	5-6	24.42	9.80	19.09	6.58	28.21	10.51	29.15	10.90

Tableau 4 - Distribution des Accidents par nombre de véhicules impliqués.

Nombre de véhicules impliqués	Nombre de voies	Pourcentage d'accidents a fréquence de signalisation							
		Totalité		Bas		Moyen		Haut	
		Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
1	2	33.60	14.14	43.49	13.23	31.09	13.79	28.17	11.71
	3-4	25.35	8.85	26.27	9.09	23.49	8.71	27.06	8.50
	5-6	23.91	9.39	19.40	7.29	27.71	10.63	27.32	9.76
2	2	54.49	11.88	49.54	12.09	54.88	12.28	58.74	10.25
	3-4	58.52	7.67	59.27	7.02	58.70	8.63	57.43	6.91
	5-6	58.52	6.85	62.62	6.60	55.41	6.48	55.07	4.58
Egal ou supérieur a 3	2	11.92	7.51	6.96	4.64	14.04	9.30	13.10	3.26
	3-4	15.82	6.27	14.47	5.84	17.09	6.17	15.52	6.66
	5-6	17.57	8.22	17.99	8.12	16.88	10.74	17.61	7.47

Tableau 5 - Distribution des Accidents par gravité.

Gravite	Nombre de voies	Pourcentage d'accidents a fréquence de signalisation							
		Totalité		Bas		Moyen		Haut	
		Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
Fatal	2	1.11	1.39	2.43	1.95	0.68	0.79	0.56	0.61
	3-4	0.97	1.30	1.29	1.87	0.83	0.95	0.79	6.55
	5-6	0.67	0.51	0.58	0.41	0.62	0.25	0.88	0.83
Blessure	2	61.50	8.87	55.26	5.72	61.65	9.61	67.46	5.90
	3-4	65.87	6.72	66.47	7.60	66.47	6.01	64.32	6.55
	5-6	67.11	4.13	67.50	4.76	67.97	4.48	65.63	2.97
DBS	2	37.39	8.71	42.31	6.55	37.68	9.54	31.97	5.90
	3-4	33.17	6.42	32.25	6.76	32.70	5.78	34.89	6.75
	5-6	32.22	4.20	31.93	4.55	31.42	4.72	33.49	3.67

L'analyse des accidents impliquant l'arrière du véhicule, de même que les tendances des accidents en angle ou latéraux, donnent les preuves nécessaires pour soutenir l'affirmation qu'un apport important d'informations sur des autoroutes à peu de voies provoque plus d'accidents du fait de mauvaises manœuvres. Sur les autoroutes à 2 voies, un pourcentage plus important d'accidents latéraux et en angle a été observé lors d'une grande fréquence de signalisation. Inversement, on note que sur les autoroutes à 5 ou 6 voies, une haute fréquence de signalisation réduisait le pourcentage des accidents à l'arrière du véhicule de 7,1%, et était caractérisé par un moindre apport d'information.

Tel qu'il est mis en évidence dans le tableau numéro 4, la majorité des accidents (57%) ayant lieu sur les sections d'autoroutes étudiées impliquait 2 véhicules. Comme il fallait s'y attendre, les autoroutes à peu de voies (moins de 2) avaient le plus grand nombre d'accidents avec un seul véhicule impliqué (33.6%), ce qui correspondait à un taux d'accidents impliquant plusieurs véhicules amoindri (11.9%), tandis que sur les plus grandes autoroutes (5 à 6 voies), ces types d'accidents avait des taux respectifs de 23.9% et 17.6%.

Les données ont indiqué que sur de petites autoroutes, une hausse de la fréquence de signalisation était responsable d'une augmentation d'environ 15% des accidents à plus de 2 véhicules, ce qui pourrait être lié à une surcharge des capacités du conducteur. Encore une fois, les données montrent qu'une faible fréquence de signalisation peut être responsable pour une moindre charge des capacités du conducteur, tel que mis en évidence par la baisse de 18% du taux d'accidents à plusieurs véhicules quand la quantité de signalisation est plus importante.

La banque de données sur les accidents reconnaît 5 niveaux de gravité : Dommage au biens seulement (DBS), Possibilité de blessure, Blessure non invalidante, Blessure

invalidante, et Fatalité. Aux fins de cette étude, les niveaux Possibilité de blessure, Blessure non invalidante, et Blessure invalidante ont été regroupés dans la catégorie «Blessure».

Parmi toutes les catégories d'autoroutes, les accidents avec blessures représentent environs deux tiers de tous les accidents, tandis que les accidents DBS représentent le dernier tiers. Les fatalités représentent moins de 1% de tous les accidents. Ces valeurs restent relativement les mêmes parmi tous les groupes d'autoroutes, mais le taux d'accidents avec blessures augmente avec le nombre de voies, avec les autoroutes à 2 voies ayant un taux de 61,5%, les autoroutes à 3 ou 4 voies ayant un taux de 65,9% et 67,1% pour les autoroutes à 5 ou 6 voies. Lorsque la fréquence de signalisation augmente, le taux d'accidents avec blessures sur les autoroutes à 2 voies augmente de 12%, mais par contre, ce taux reste relativement constant pour tous les groupes de signalisation des autoroutes à 3,4, 5 et 6 voies.

Cette analyse permet les conclusions suivantes :

Les catégories d'autoroutes analysées se différencient du point de vue du taux accidents avec une tendance à croître lorsque le nombre de voies augmente.

Une augmentation de la signalisation sur les autoroutes à 2,3 et 4 voies provoque une augmentation générale du taux d'accident, avec une augmentation simultanée du taux d'accidents à plusieurs véhicules et aussi parfois de la gravité. On peut donc poser l'hypothèse que de telles conditions peuvent être la raison expliquant la surcharge de l'apport d'information. Les données analysées indiquent que si la fréquence de signalisation dépasse les seuils de 0,18 et 0,21 panneaux par seconde sur les autoroutes à 2, 3 ou 4 voies, les conséquences peuvent être substantielles. Ces valeurs sont donc des seuils pour identifier la surcharge de l'apport d'information au conducteur.

L'analyse indique que les autoroutes à 5 ou 6 voies à faible fréquence de signalisation, peuvent être caractérisées comme étant un environnement dangereux pour la conduite. Ce phénomène appuie l'hypothèse que de telles conditions de circulation peuvent constituer un moindre apport d'information au conducteur, et correspond à une fréquence de signalisation de 0,25 panneaux par secondes.

4. OBSERVATIONS EXPERIMENTALES DES REACTIONS DES CONDUCTEURS DANS UN ENVIRONNEMENT DE CIRCULATION RÉEL

La deuxième évaluation du niveau d'apport d'information a été faite en utilisant comme critère le comportement du conducteur -ceci ne créant pas de conflit- se basant sur une enquête des réactions du conducteur.

Toutes les réactions des conducteurs à leur environnement de conduite peuvent être catégorisées en réactions externes –dites comportementales- qui reflètent les corrections faites par un conducteur pendant sa conduite et sont mises en évidence par la vitesse et le trajectoire du véhicule. Les réactions internes, elles, reflètent le chargement des capacités mentales du conducteur -elles sont le résultat d'une composante émotionnelle et subjective- ainsi que les changements psychophysiologiques.

Après avoir examiné les différentes méthodologies utilisées pour rendre approximative la réponse du conducteur à son environnement, les paramètres suivants ont été choisis pour les essais :

L'historique de la vitesse-temps du véhicule, pour analyser le comportement de la réaction du conducteur.

Le stimulus visuel tel que ressenti par l'œil du conducteur, pour faire une analyse qualitative des différents types de circulation.

Un électrocardiogramme et un electro-oculogramme (EOG) pour analyser la réaction instinctive du conducteur.

Les essais ont été faits avec un appareil spécialisé qui comprenait :

Un module de surveillance électronique connectée à des instruments de diagnostic de bord permettant à l'appareil de surveiller les systèmes du véhicule en continu (lorsque celui-ci se déplace)

Une camera qui enregistre le champ de vue du conducteur.

Un module surveillant et enregistrant en continu toutes les réponses psychophysiologiques.

Un ordinateur portable sauvegardant toutes les données.

Un échantillonnage de sections d'autoroute représentative des catégories de niveau d'apport d'information illustré dans le tableau numéro 1 a été choisi pour faire des essais de conduite. Les circuits d'essais ont été choisis pour qu'au moins une section ait 4 ou 5 catégories d'apport d'information spécifique. Le choix des circuits d'essais a pris en compte la proximité de chaque section étudiée pour éviter que chaque essai ne dépasse pas deux heures, et donc n'était pas assujéti à la fatigue du conducteur. Puisque la ville de San Antonio était la seule à avoir des sections d'autoroute possédant toutes les combinaisons de catégories d'apport d'information, elle à été choisie pour les essais sur les autoroutes à 2 voies. Avec le même raisonnement, la ville de Dallas a été choisie comme site d'étude pour les autoroutes à 3-4 voies et, de même, la ville de Houston pour les autoroutes à 5-6 voies.

Les conducteurs choisis pour mener ces essais ont été choisis parmi les employés de TxDOT qui vivent à l'extérieur des villes sélectionnées, dans le but d'éviter un effet de reconnaissance des lieux. Huit conducteurs par ville (20 hommes et 4 femmes au total), âgé de 23 à 55 ans, ont participé à cette étude. Chaque conducteur avait pour tache de se rendre en voiture à un point de rendez-vous, son chemin contenant plusieurs des sections examinées. Après être arrivé au rendez-vous, le conducteur devait se rendre à un prochain point de rendez vous et ce, a plusieurs reprises. Les indications transmises aux conducteurs précisait que l'étude était en fait une enquête sur les conditions générales du trafic des autoroutes urbaines et qu'ils ne devaient utiliser ni téléphone portable, ni radio. Aucune autre indication ne leur avait été donnée, et à aucun moment ils n'ont été informés des objectifs de l'étude et de la location des sections examinées.

Tous les essais ont été faits avec le même véhicule (un Ford Freestar) dans des conditions météorologiques similaires, pendant l'été 2005. Les essais ont été faits dans des volumes de circulation qui allait d'un niveau fluide à un niveau condensé, mais jamais congestionné.

Afin d'éviter l'influence de différents états psychophysiologiques non liés à la conduite, un électrocardiogramme à été enregistré pour chaque conducteur avant qu'il ne prenne le volant. Par la suite, certaines caractéristiques relatives, tel que le pouls pendant les essais, exprimées comme pourcentage des valeurs de base, ont été utilisées.

Pour évaluer la relation entre l'amplitude du EOG (enregistrée en microvolts) et l'angle de déplacement de l'œil, une calibration uniformisée a été faite pour chaque conducteur avant un essai. Pour identifier les points de fixation des yeux du conducteur, une technique développée par CTR, qui permet de superposer l'électro-potential des mouvements des yeux sur le champ visuel du conducteur -tel qu'il a été enregistré sur vidéo- a été utilisé.

A titre de comparaison, les données obtenues ont été catégorisées selon les conditions de circulation pendant l'essai. Les premières observations ont montré que lorsqu'il y avait un volume de circulation semblable par heure sur la section d'autoroute étudiée, les conditions de la circulation pouvaient varier entre une circulation fluide et une circulation condensée. Chaque set de données devait donc être revu pour déterminer l'état de la circulation, et selon la condition prédominante, était classé en niveau A, B ou C, ce qui représentait respectivement une petite, moyenne et grande interaction avec d'autres véhicules. Ce critère a été nommé Niveau d'Interaction Véhiculaire (NIV) et sa quantification est décrite ci-dessous :

NIV-A : Environ 75% du temps au volant était libre de toute interaction avec d'autres véhicules (étant à proximité), et le temps séparant chaque véhicule dépassait, pour la plupart, 4 secondes. Le conducteur pouvait choisir librement sa vitesse, son trajet, et faire des manœuvres sans faire attention aux autres véhicules.

NIV-B : Pendant environ 50% du temps au volant, il y avait d'autres véhicules dans l'environnement immédiat, avec un temps moyen entre chaque véhicule de 2 à 3 secondes. Les actions des autres véhicules pouvaient nécessiter des corrections de la part du conducteur. Une condensation du trafic se produisait alors.

NIV-C : Plus de 50% du temps était passé dans des situations congestionnées, avec toute les voies ayant une charge uniforme, avec un temps moyen entre chaque véhicule de moins de 2 secondes. La difficulté pour faire des manœuvres, et les actions des autres véhicules demandait alors une réaction immédiate.

Au fins de l'analyse, les critères suivants ont été choisis : vitesse moyenne, fréquence et intensité de freinage, le pouls cardiaque ainsi que la fréquence de fixation des yeux sur divers endroits dans le champ visuel du conducteur. Pour faire une estimation quantitative des réactions du conducteur, la technique de réduction a été utilisée. Cette technique estime qu'une vitesse réduite de plus de 10 km/h est une indication d'insuffisance dans les conditions de la circulation [5]. Pour faire une estimation quantitative des réponses psychophysiologiques, une analyse du battement de cœur a indiqué qu'une augmentation de plus de 115% de ce battement, en comparaison avec celui pris avant l'essai, exprimait une tension émotionnelle [6].

L'importance des différences dans ces données a été analysée avec un test non paramétrique de Kruskal-Wallis

Les tableaux 6 et 7, ainsi que la figure 3 représentent la tendance générale des données obtenues au sujet des réactions des conducteurs sur les sections d'autoroute caractérisées par des niveaux d'apport d'information différents.

L'analyse statistique des réactions des conducteurs ont indiqué que, entre les catégories d'apport d'information 1 à 9 (Les autoroutes à 2 voies), les catégories 5 et 9 se

différencient de façon significative et se caractérisent par la réduction de vitesse la plus importante, et par la hausse dans la fréquence de freinage intense.

Sur les autoroutes à 3-4 voies (les catégories d'apport d'information 10 à 18), la tendance d'une réaction accrue a été remarquée à son tour, avec un impact des niveaux d'apport d'informations supérieur à 15, et avec une hausse des interactions entre véhicules.

Les données indiquaient qu'il n'y avait pas de différence significative dans la distribution de vitesse sur les autoroutes à 5-6 voies, tel que caractérisé par les catégories d'apport d'information 19 à 27. De même, la tendance d'une réduction de freinage intense à de hauts niveaux d'apport d'information (supérieure à 23) a été notée pour tous les niveaux d'interactions entre véhicule.

Les données obtenues ont indiqué une forme de 'U' dans la relation entre les réactions internes du conducteur et l'apport d'information. Un niveau généralisé d'interactions entre véhicules sur les autoroutes à moins de 4 voies et une tension émotionnelle basse du conducteur ont été observés à des niveaux d'apport d'information caractérisés par des niveaux de signalisation moyens (Les catégories 4 et 5 pour les autoroutes à 2 voies, et les catégories 13 et 15 pour les autoroutes à 3-4 voies).

Les données pour les autoroutes à 2 et 3-4 voies ont démontré que lorsqu'il y a une fréquence de signalisation accrue, les conducteurs passent plus de temps dans leur recherche visuelle dans les zones de clarté visuelle. Ceci se produit aux dépens de l'attention portée à la situation des véhicules dans l'environnement immédiat et aux instruments de bord. Une attention réduite envers l'environnement immédiat peut provoquer des comportements et des estimations inappropriés. Cette hypothèse est soutenue par l'analyse des données sur les accidents.

Une dispersion importante des points de fixation des yeux a aussi été observée sur les autoroutes avec peu de signalisation. On peut poser l'hypothèse qu'un manque d'information venant des panneaux routiers peut forcer les conducteurs à chercher d'autres points de référence qui pourraient les aider avec la navigation.

Sur les autoroutes à 5-6 voies, les réactions internes du conducteur ont indiqué une tendance à la décroissance lorsque l'apport d'information est lui, croissant, avec les valeurs minimum dans les catégories de 25 et plus.

Pour obtenir plus de détails sur les seuils de niveaux d'apport d'information, les caractéristiques notées du comportement des conducteurs ont été tracées sur un graphique en relation avec les fréquences de signalisation, ainsi que le montre l'échantillon dans la figure 4. Dans l'ensemble, les résultats obtenus dans l'analyse sur les accidents ont identifié les fréquences de signalisation qui correspondent au minimum des niveaux optimum de performance, de la capacité mentale et de la réduction du stress :

Sur les autoroutes à 2 voies – entre 0,16 et 0,20 panneaux par seconde (10-12 panneaux par mille quand la limite de vitesse est de 60 mph)

Sur les autoroutes à 3-4 voies – entre 0,18 et 0,22 panneaux par seconde (11-13 panneaux par mille quand la limite de vitesse est de 60 mph)

Sur les autoroutes à 5-6 voies - entre 0,25 et 0,29 panneaux par seconde (15-17 panneaux par mille quand la limite de vitesse est de 60 mph)

Tableau 6 – Caractéristiques de la distribution de vitesse du conducteur d'essai moyen

Catégorie d'apport d'information	Niveau d'interaction d'un véhicule								
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	Vitesse moyenne, km/h			Ecart type de la vitesse, km/h			Fréquence de freinage a plus de 10km/h, % du total		
Autoroute a 2 voies									
1	101.88	99.00	102.43	5.79	5.79	4.01	3.37	2.85	1.38
2	101.20	96.62	~	5.54	5.80	~	0.64	1.02	~
3	99.43	98.10	~	7.19	7.12	~	4.02	4.12	~
4	102.80	101.47	99.60	3.77	5.14	4.94	1.49	0.00	2.00
5	97.73	100.33	97.97	6.77	6.91	8.43	3.79	1.11	6.93
6	100.37	95.50	95.18	5.07	16.58	5.56	5.07	5.83	3.29
7	100.28	100.43	100.96	6.95	5.19	4.32	7.48	4.44	4.32
8	90.77	84.51	86.70	5.99	5.99	7.07	0.81	2.08	3.90
9	94.76	95.03	~	6.59	7.02	~	9.17	4.03	~
Autoroute a 3-4 voies									
10	100.21	97.00	100.41	5.47	5.97	4.13	2.59	1.73	0.00
11	100.48	95.24	95.27	4.19	6.52	5.93	0.45	2.26	1.95
12	~	97.94	91.89	~	7.26	6.16	~	4.25	7.81
13	100.28	95.57	~	6.30	5.35	~	3.52	1.81	~
14	96.82	96.14	89.07	5.02	6.15	6.64	3.43	3.87	7.14
15	92.97	90.74	88.41	3.82	6.49	6.42	0.00	2.97	4.80
16	99.94	95.07	79.46	4.83	5.60	9.67	5.43	2.68	19.89
17	97.18	93.22	89.22	5.27	6.37	8.62	5.67	8.85	15.47
18	~	88.41	89.07	~	6.23	6.83	~	5.33	8.47
Autoroute a 5-6 voies									
19	96.68	99.49	105.74	4.87	4.92	7.29	2.86	10.67	11.11
20	98.49	95.99	94.09	6.98	6.47	5.84	3.46	3.37	7.25
21	88.89	90.05	91.19	3.89	5.10	4.67	6.67	2.86	9.96
22	99.19	99.66	92.27	4.57	5.64	7.63	6.25	3.14	7.14
23	97.09	96.64	87.52	4.93	4.10	5.67	0.00	0.00	~
24	~	93.31	94.12	~	5.02	6.31	~	5.38	6.88
25	~	~	~	~	~	~	~	~	~
26	90.24	~	~	2.69	~	~	0.00	0.00	~
27	90.50	92.82	99.01	5.78	5.39	5.36	0.00	0.00	0.00
~ pas de données									

Tableau 7 – Fréquence moyenne de fixation des yeux pour les différentes catégories d'apport d'information

Catégorie d'apport d'information	Niveau d'interaction d'un véhicule											
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	Zone de clarté visuelle *			Zone de contrôle **			L'instrumentation			Autres		
Pourcentage du temps total												
Autoroute a 2 voies												
1	62.72	55.76	51.70	21.48	17.65	18.07	5.42	7.69	14.53	10.38	9.82	15.70
2	62.01	56.67	~	23.08	26.46	~	5.22	7.67	~	9.70	9.21	~
3	67.94	59.18	~	17.80	28.17	~	5.52	4.45	~	8.74	8.20	~
4	63.19	62.42	68.06	19.54	18.24	22.42	6.70	6.43	2.52	10.57	12.90	7.00
5	61.38	66.29	68.18	20.58	18.75	17.54	7.86	8.31	3.92	10.18	6.66	10.36
6	60.98	52.40	67.64	18.44	25.90	20.00	9.45	8.22	2.90	11.13	13.49	9.46
7	63.01	66.04	62.59	15.56	21.56	18.15	12.16	0.87	7.45	9.27	11.53	11.81
8	67.92	75.43	47.55	10.69	13.67	12.29	0.77	2.44	34.98	3.96	8.45	5.18
9	76.95	70.06	~	18.11	18.11	~	1.01	3.29	~	3.92	8.54	~
Autoroute a 3-4 voies												
10	61.38	66.85	62.27	16.00	20.09	11.16	4.16	4.71	11.97	9.33	8.36	14.59
11	58.20	74.25	57.36	22.98	14.80	31.14	3.85	2.49	3.20	9.02	8.13	8.30
12	~	69.90	65.05	~	17.03	28.38	~	3.38	0.89	~	7.63	5.67
13	67.19	71.77	~	15.92	16.90	~	3.30	3.90	~	8.07	9.14	~
14	73.36	68.61	73.65	15.44	21.03	11.80	3.50	3.07	~	6.87	7.29	14.55
15	76.62	68.80	74.49	20.18	13.38	16.42	0.11	3.49	2.72	3.09	13.70	6.36
16	67.14	77.56	80.33	20.63	11.59	13.78	4.67	5.09	0.36	7.80	8.72	5.54
17	74.75	68.02	77.49	14.63	19.02	9.78	3.18	3.29	2.38	7.44	9.13	7.07
18	64.84	66.88	74.59	30.71	19.83	15.57	0.75	4.54	2.86	3.70	6.10	6.47
Autoroute a 5-6 voies												
19	71.47	73.69	73.10	19.88	15.80	15.89	3.00	3.94	2.73	6.86	6.58	8.29
20	73.58	71.14	70.19	12.00	17.68	18.05	4.04	3.63	6.43	10.37	6.66	7.62
21	57.27	73.52	74.72	23.07	16.57	15.64	6.38	4.37	1.14	7.84	6.78	8.49
22	69.83	69.49	77.24	17.79	21.64	12.53	3.67	2.36	2.18	7.83	6.69	8.05
23	72.28	72.46	62.01	20.15	18.35	14.04	4.05	2.51	~	5.54	6.67	~
24	~	71.87	72.67	~	15.80	16.82	~	4.86	2.66	~	7.47	7.85
25	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
26	72.54	72.10	82.46	11.11	15.91	14.83	5.83	2.42	~	8.50	4.93	2.71
27	66.40	no data	84.67	20.90	no data	9.42	6.32	~	0.74	7.96	~	5.16
* Secteur de vision de conducteur dans +/- 10 degrés horizontalement et verticalement												
** Fixation des yeux sur les miroirs extérieurs, le rétroviseur, les véhicules immédiatement a droite et a gauche												
~ pas de données												

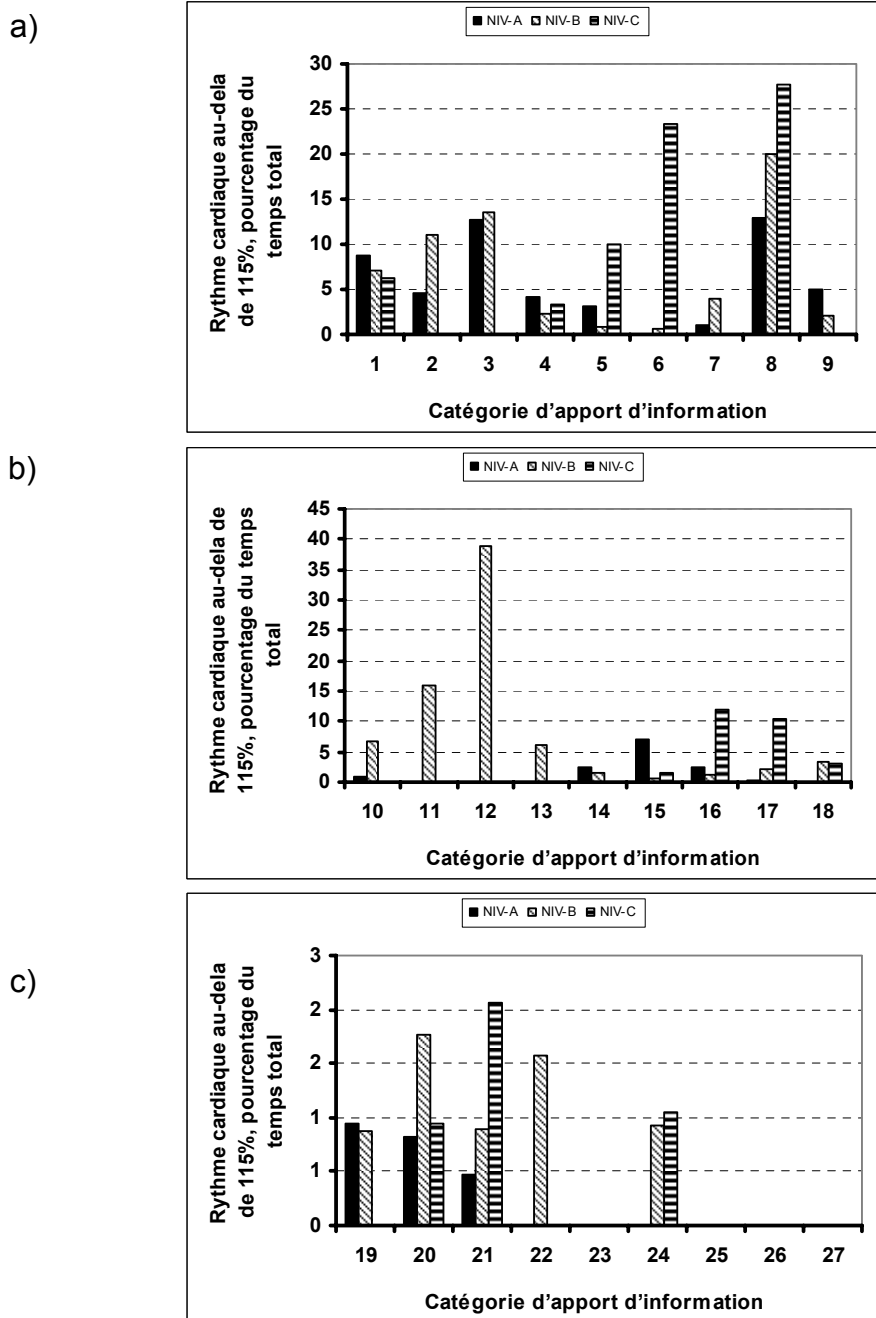


Figure 3 – Fréquence moyenne d’une hausse de plus de 115% du battement de coeur sur les autoroutes à : a) 2 voies b) 3-4 voies et c) 5-6 voies

5. CONCLUSIONS

En mettant ensemble les données de l’analyse sur les accidents et l’étude des réactions des conducteurs, on peut tirer les conclusions suivantes.

Une hausse dans la fréquence de la signalisation semble correspondre à une hausse du taux d’accidents sur les autoroutes à 2 et 3-4 voies et à une hausse des collisions rassemblant plusieurs véhicules et parfois la gravité des accidents. Ceci semble appuyer l’hypothèse qu’une haute fréquence de signalisation provoque une surcharge de l’apport d’information pour le conducteur. D’un autre point de vue, sur les autoroutes à 5-6 voies,

on note qu'une baisse dans la fréquence de signalisation semble provoquer davantage d'accidents. Cette observation appuie l'hypothèse que moins d'information (sur la largeur observée des autoroutes) pourraient contribuer à une moindre charge dans l'apport d'information.

Les données indiquent qu'une relation en forme de 'U' s'établit entre les réactions internes et l'apport d'information, avec les réactions les plus favorables associées aux catégories moyennes d'information sur les autoroutes avec 4 voies ou moins.

Des réactions intenses -comme un changement de pouls rapide et un freinage intense sur les autoroutes ayant peu de signalisation- semblent indiquer une insuffisance dans l'apport d'information, alors qu'une haute fréquence de signalisation correspond à une surcharge de l'apport d'information.

Les réactions des conducteurs les plus favorables ont été observées aux plus hauts niveaux d'apport d'information, ce qui indique le besoin d'une haute fréquence de signalisation sur de telles autoroutes.

Un sommaire des résultats se trouve dans le tableau 8.

Tableau 8 – Reactions des conducteurs vis-a-vis des differents apports d'information sur les autoroutes urbaines

Autoroute	Fréquence de signalisation, panneaux par seconde	Apport d'information du conducteur	Tension émotionnelle du conducteur	Effets sur le comportement du conducteur	Fréquence d'accident
2 Voies de circulation	moins que 0.16	moindre charge	haut	haute vitesse, basse fréquence de freinage intense	bas
	0.16 - 0.20	optimum	normale	haute vitesse, plus basse fréquence de freinage intense	bas
	supérieure a 0.20	Surcharge	haut	vitesse réduite, haute fréquence de freinage intense	haut
3-4 Voies de circulation	moins que 0.18	moindre charge	très haut	haute vitesse, basse fréquence de freinage intense	bas
	0.18 - 0.22	optimum	normale	haute vitesse, plus basse fréquence de freinage intense	bas
	supérieure a 0.22	Surcharge	haut	vitesse réduite, haute fréquence de freinage intense	haut
5-6 Voies de circulation	moins que 0.25	moindre charge	haut	haute vitesse, haute fréquence de freinage intense	haut
	0.25-0.29	optimum	normale	haute vitesse, basse fréquence de freinage intense	bas
	supérieure a 0.29	non applicable	non applicable	non applicable	non applicable

RÉFÉRENCES

1. Dewar, R.E., Olson, P.L. (2002). Human Factors in Traffic Safety. Lawyers & Judges Publishing Company, Inc., Tucson, AZ, USA.
2. Tsyganov, A.R., Machemehl, R.B., Vacquez, L., Qatan, A., Mohan D.N., (2004). Quantitative Description of Informational Dimensions of Urban Freeways. Research Report 0-4621-1, Center for Transportation Research, Bureau of Engineering Research, The University of Texas at Austin, Austin, TX, USA..
3. Highway Capacity Manual (2004). Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., USA.
4. Klebelsberg, D. (1982). Verkehrspsychologie. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
5. Lamm, R., Psarianos, B., and Mailaender, T. (1999). Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook. McGraw-Hill Book Company, New York, USA.

6. Lobanov, E.M. (1980). Highway Design Taking into Consideration Drivers Psycho-Physiology. Transport, Russia.

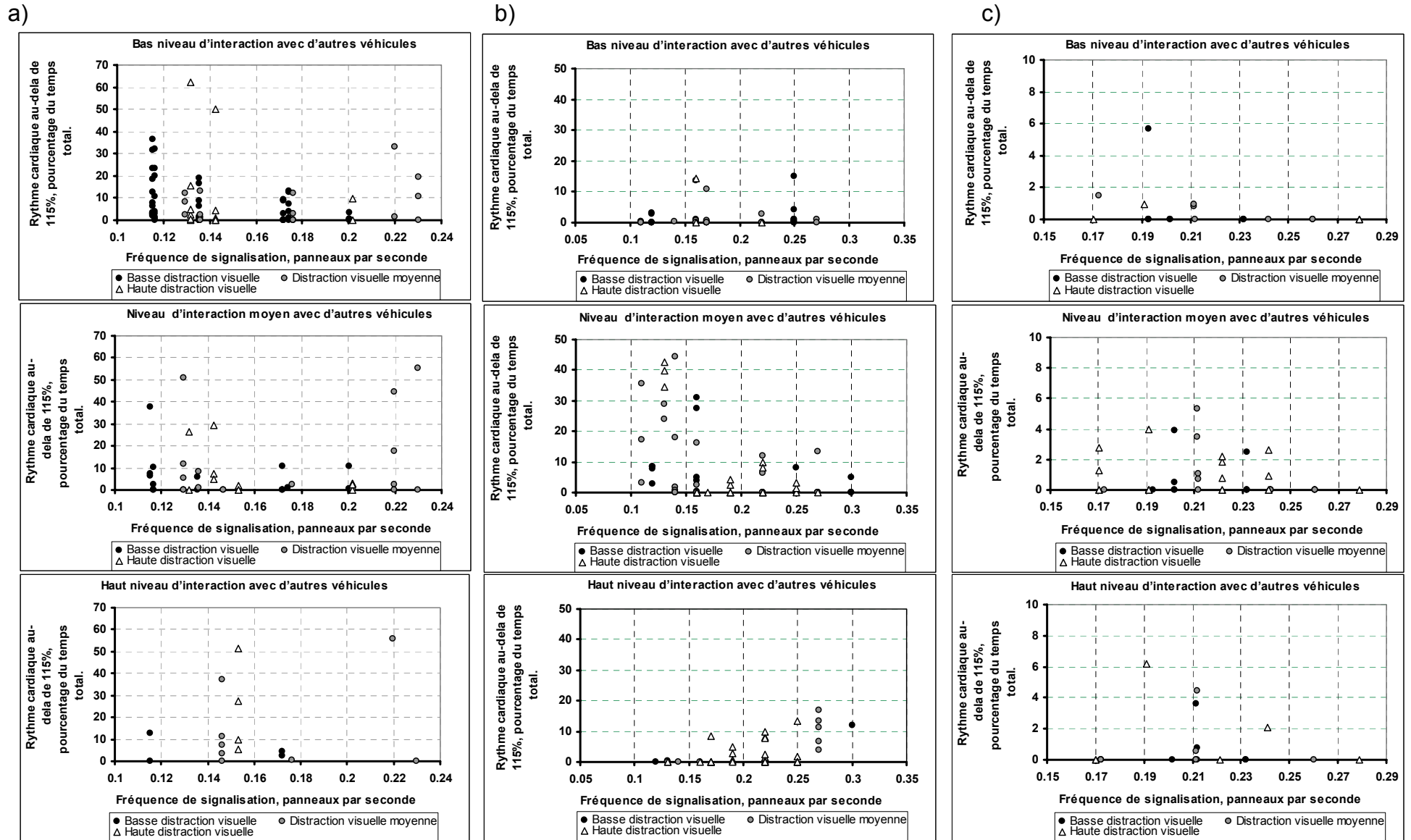


Figure 4 - Fréquence de plus grande rythme cardiaque de conducteur sur des sections d'autoroute avec l'intensité de signature de route différente : a) Autoroute a 2 voies, b) Autoroute a 3-4 voies, c) Autoroute a 5-6 voies.