



HAL
open science

Impact du contrôle automatisé feu rouge : Analyse des franchissements de feux rouges sur l'agglomération nantaise avant le déploiement de dispositifs de contrôle automatisé

Laurent Carnis, R. Dik, E. Kemel

► To cite this version:

Laurent Carnis, R. Dik, E. Kemel. Impact du contrôle automatisé feu rouge : Analyse des franchissements de feux rouges sur l'agglomération nantaise avant le déploiement de dispositifs de contrôle automatisé. 2010, 36p. hal-00544173

HAL Id: hal-00544173

<https://hal.science/hal-00544173>

Submitted on 7 Dec 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Impact contrôle automatisé feu rouge :

**Analyse des franchissements
de feux rouges sur
l'agglomération nantaise
avant le déploiement de
dispositifs de contrôle
automatisé**

**Laurent Carnis
Radoine Dik
Emmanuel Kemel**

Juin 2010

Ressources, territoires et habitats
Énergies et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et me

**Présent
pour
l'avenir**

INRETS/DEST

Laurent Carnis est chargé de recherche au Département d'Économie et de Sociologie des Transports (DEST) à l'Institut de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS).

CETE de l'Ouest/DES/Groupe Sécurité Routière

Radoine Dik est chargé d'études et de recherche sécurité routière au sein de la Division Exploitation et Sécurité (DES) du Centre d'Études Techniques de l'Équipement de l'Ouest (CETE de l'Ouest).

Emmanuel Kemel est chargé d'études et de recherche sécurité routière au sein de la Division Exploitation et Sécurité (DES) du Centre d'Études Techniques de l'Équipement de l'Ouest (CETE de l'Ouest).

Remerciements :

Les auteurs remercient Daniel Grégoire pour son aide précieuse lors de la collecte des données, ainsi que les agents de son équipe qui ont permis de disposer des informations statistiques sur les franchissements au rouge.

Table des matières

INTRODUCTION	3
I) SITES, MATERIEL DE MESURE ET DONNEES UTILISEES	4
I.1) LES SITES RETENUS	4
I.2) LE MATERIEL DE MESURE.....	6
I.3) LES DONNEES	7
<i>Les données théoriques</i>	7
<i>Les données retenues dans l'analyse</i>	9
II) ANALYSE DU NOMBRE DE FRANCHISSEMENTS AU ROUGE	11
II.1) LE NOMBRE MOYEN DE FRANCHISSEMENTS AU ROUGE.....	11
II.2) ÉVOLUTION DU NOMBRE DE FRANCHISSEMENTS AU ROUGE SELON L'HEURE DE LA JOURNEE.....	11
II.3) ÉVOLUTION DU NOMBRE DE FRANCHISSEMENTS AU ROUGE SUIVANT LE JOUR DE LA SEMAINE ...	13
II.4) ÉVOLUTION DU NOMBRE DE FRANCHISSEMENTS AU ROUGE SELON LE POSTE.....	14
II.5) ANALYSE ECONOMETRIQUE DU NOMBRE DE FRANCHISSEMENTS AU ROUGE	15
<i>Approche par un modèle de Poisson sur le nombre de franchisements au rouge</i>	15
<i>L'impact du débit horaire</i>	16
<i>L'impact de l'heure</i>	17
<i>L'impact du jour de la semaine</i>	19
<i>L'impact du poste</i>	19
CONCLUSION	20
III) ANALYSE DES TAUX DE FRANCHISSEMENT AU ROUGE	22
III.1) ANALYSE DU TAUX DE FRANCHISSEMENT SUIVANT L'HEURE DE LA JOURNEE	22
III.2) ANALYSE DU TAUX DE FRANCHISSEMENT SUIVANT LE DEBIT HORAIRE	24
III.3) ANALYSE DU TAUX DE FRANCHISSEMENT SELON LE JOUR.....	24
III.4) ANALYSE DU TAUX DE FRANCHISSEMENT SELON LE POSTE.....	25
III.5) ANALYSE ECONOMETRIQUE DES TAUX DE FRANCHISSEMENT AU ROUGE	27
<i>Approche par un modèle logistique sur le taux de franchissement au rouge</i>	27
<i>L'impact du débit horaire</i>	28
<i>L'impact de l'heure</i>	30
<i>L'impact du jour de la semaine</i>	31
<i>L'impact du poste</i>	31
CONCLUSION	32
CONCLUSION GENERALE	34
ANNEXE A: GRILLE ANALYSE DE SITE DES CARREFOURS A FEUX SUIVIS SUR NANTES METROPOLE	37
ANNEXE B : RESULTATS DE L'ESTIMATION D'UN MODELE DE POISSON SUR LES NOMBRES HORAIRE DE FRANCHISSEMENTS	38
ANNEXE C : RESULTATS DE L'ESTIMATION DU MODELE LINEAIRE SUR LE RESULTAT DE L'APPLICATION DE LA TRANSFORMATION LOGISTIQUE AUX TAUX DE FRANCHISSEMENT HORAIRE	39

Introduction

La réalisation de cette étude s'inscrit dans le cadre de l'analyse de l'impact des dispositifs de contrôle automatisé feux rouges déployés sur la ville de Nantes au début de l'année 2010. Elle a comme objectif de caractériser « l'état 0 ». L'état « 0 » peut être défini comme la période de collecte d'informations concernant les franchissements de feux rouges avant le déploiement des dispositifs de contrôle automatisé. Il s'agit de quantifier la prévalence de ces comportements et d'en définir les principales caractéristiques à partir de données temporelles, géographiques et contextuelles. Ce travail fait suite à un premier rapport relatif à une revue de littérature sur l'efficacité du contrôle automatisé feu rouge (Carnis, 2010).

Ce rapport présente une série d'analyses statistiques exploratoires, réalisées à l'aide du logiciel R (Venables et Ripley, 2001), sur les franchissements de feux rouges relevés au cours de l'année 2009 sur 26 branches de 20 carrefours localisés sur la ville de Nantes. Ces résultats seront utilisés par la suite pour évaluer l'impact des dispositifs de contrôles automatisés feux rouges en les comparant aux données qui seront recueillies au cours de l'année 2010 (caractérisant l'état « 1 »). La caractérisation des franchissements de feux rouges aidera à mieux connaître ce phénomène.

Au-delà de la caractérisation des franchissements de feux rouges, les résultats de l'étude pourront éventuellement être utiles à la formulation de préconisations pour le choix des sites qui seront équipés ultérieurement, et ce, en fonction des enjeux qui auront pu être mis en évidence. Ces préconisations permettront alors d'assurer entre autres une meilleure sécurité des piétons. La protection des usagers vulnérables constitue, en effet, un objectif essentiel qui a présidé au déploiement du contrôle automatisé feu rouge (Fournier, 2009).

Cette étude peut être considérée comme une phase exploratoire, dont le but est de mieux connaître le phénomène « franchissement de feux rouges » (appelés franchissements dans la suite de l'étude). Elle consiste également en une phase préparatoire à l'évaluation de l'impact des dispositifs de contrôle automatisé des infractions au feu rouge.

Le rapport s'articule autour de trois sections. La première section décrit les sites de mesure, le matériel de mesure mobilisé, ainsi que les données recueillies et conservées pour l'analyse. La deuxième section propose une analyse du nombre de franchissements, afin d'identifier l'effet des variables temporelles et géographiques. Des analyses économétriques permettront de tester des modèles explicatifs pour mieux mesurer l'effet « propre » de chaque variable. Enfin, la dernière section poursuit l'analyse en étudiant les taux de franchissement. Une démarche similaire à celle mobilisée pour l'analyse en niveau est suivie. Chaque section conclut sur quelques recommandations.

I) Sites, matériel de mesure et données utilisées

Cette première section présente les sites retenus pour effectuer les mesures, le type de matériel utilisé pour le recueil des données. Elle précise les données obtenues et conservées pour l'analyse.

I.1) Les sites retenus

Le CERTU (Centre d'études sur les réseaux, les Transports, l'urbanisme et les constructions publiques) a commandé au CETE de l'Ouest des comptages de franchissements de feux rouges sur la ville de Nantes, à raison d'une semaine de comptage par feu et par trimestre, pour mieux connaître ce phénomène avant le déploiement des dispositifs de contrôle automatisé. Les données issues de ce comptage ont été exploitées dans le cadre de la présente étude afin de mener des analyses statistiques exploratoires.

Les campagnes de comptages ont ainsi été réalisées sur 26 branches de 20 carrefours à feux de l'agglomération nantaise, qui sont décrits au sein de l'annexe A. Depuis début 2010, 5 carrefours sont équipés d'un dispositif de contrôle automatisé (en vert dans le plan de l'image 1). 15 autres carrefours ont été mobilisés pour effectuer des mesures sans pour autant être équipés d'un dispositif de contrôle.

Les carrefours concernés sont les suivants :

- 1-Fosse-Brissonneau (3 branches dont une avec dispositif de contrôle : feux n°31-311-3111),
- 2-Jules Verne-Croissant (3 branches / une avec dispositif de contrôle : feux n°199s1-199s2-199s3),
- 3-Belges Coudray (3 branches dont une avec dispositif de contrôle : feux n°15s1-15s2-15s3)),
- 4-Hôtel de ville, rue de l'Hôtel de Ville (avec dispositif de contrôle : feu n°149),
- 5-Guist'hau-Geslin, boulevard Guist'hau (avec dispositif de contrôle: feu n°183),
- 6-Beaujoire (feu n°254),
- 7-Route de Paris (feu n°167),
- 8-Rue de Rennes (feu n°254),
- 9-Aristide Briand-Chupiet (feu n°347),
- 10-Route de Clisson-Avenue des Maraichers (feu n°328),
- 11-Léon Say-Felix Faure (feu n°11),
- 12-Bellamy (feu n°26),
- 13-Anne de Bretagne (feu n°133),
- 14-Stalingrad-Manufacture-Maryland (feu n°169),
- 15-Strasbourg-Leclerc (feu n°13),
- 16-Pasteur-La montagne (feu n°20),
- 17-Rond point de Paris (feu n°12),

- 18-Ecole Blanche de Castille (feu n°76),
- 19-Port Boyer, (feu n°137)
- 20-Grand Bois-Massacre (feu n°385).

Le choix des sites a été établi en concertation avec la communauté urbaine de Nantes Métropole afin de suivre des branches de carrefours à feux représentatifs de la configuration urbaine (centre plus ou moins dense, résidentiel), du trafic piéton et de l'activité riveraine (secteur plus ou moins commercial, présence ou non d'école à proximité), mais également en fonction du type d'axe selon l'importance du trafic (réseau structurant, artère urbaine, voie de desserte et trafic de transit ou local). Les sites retenus permettent ainsi de disposer de différentes configurations de carrefours aux caractéristiques diverses.



Image 1 : Localisation des carrefours étudiés sur le plan de la ville de Nantes

Afin de mieux appréhender le contexte de fonctionnement des carrefours à feux suivis, une visite sur site a été réalisée. À partir d'une grille descriptive, il a été possible de synthétiser, pour chaque poste de mesure, les caractéristiques structurantes pouvant influencer le comportement des conducteurs. En somme, un état des lieux a été établi par la rédaction d'une fiche de poste synthétique. L'annexe A regroupe l'ensemble des fiches de poste établies pour chaque carrefour. Un plan d'implantation et une photo de la ou des branches suivies complètent le descriptif. Chaque fiche permet ainsi d'analyser, pour chaque branche étudiée, les thématiques suivantes, consignées systématiquement : la densité du trafic, la présence de lignes de transport en commun, la proximité à un passage à niveau ou tramway, la géométrie du carrefour, les équipements, les visibilitées depuis la branche contrôlée, les vitesses d'approche, la présence de stationnement, la présence de commerces ou d'école à proximité, le trafic piéton, la largeur des trottoirs, les problématiques d'accessibilité, la présence d'accès à proximité et l'orientation Est-Ouest du carrefour pour l'analyse des risques d'éblouissement. Chaque fiche permet ainsi de conceptualiser chaque carrefour. L'analyse globale des fiches suggère que l'échantillon des carrefours étudiés est représentatif des différents items définis.

Par ailleurs, une réunion avec les services de Nantes Métropole a également permis d'obtenir le diagramme de fonctionnement de chaque carrefour permettant de mieux comprendre le fonctionnement et l'enchaînement des différentes phases de rouge. Ces diagrammes constitueront une aide à l'interprétation des données. Ils seront utilisés plus spécifiquement dans une phase ultérieure de l'étude. Celle-ci portera notamment sur l'analyse de l'occurrence des franchissements dans la phase de rouge et nécessitera le déploiement d'un matériel spécifique d'enregistrement des franchissements en données individuelles.

1.2) Le matériel de mesure

Les mesures ont été réalisées au moyen de compteurs CIGALE-FFR. Ce sont des compteurs pneumatiques qui ont été modifiés afin de pouvoir comptabiliser les véhicules pendant les phases de rouge, rattachées à des périodes horaires, ainsi que pour fournir les débits horaires associés (CETE de l'Ouest, 2009).

Le compteur est composé d'un boîtier de programmation et d'enregistrement. Le câble de raccordement est relié à la phase de rouge par un contact sec filaire qui est à poser dans le contrôleur du feu ou dans le poteau du feu concerné. Deux canaux permettent ensuite d'enregistrer respectivement les passages de véhicules dans la phase de rouge et le débit horaire de la branche étudiée du carrefour. L'image 2 présente les différents composants de ce matériel (canaux, tuyau pneumatique, câble de raccordement...).

Dans le cadre du suivi des franchissements de feux rouges sur les sites étudiés, les compteurs CIGALE-FFR ont été posés par période d'une semaine chaque trimestre pour chaque carrefour. Les données

ont été rattachées à des périodes horaires, qui concernent aussi bien les franchissements au rouge que les débits totaux.

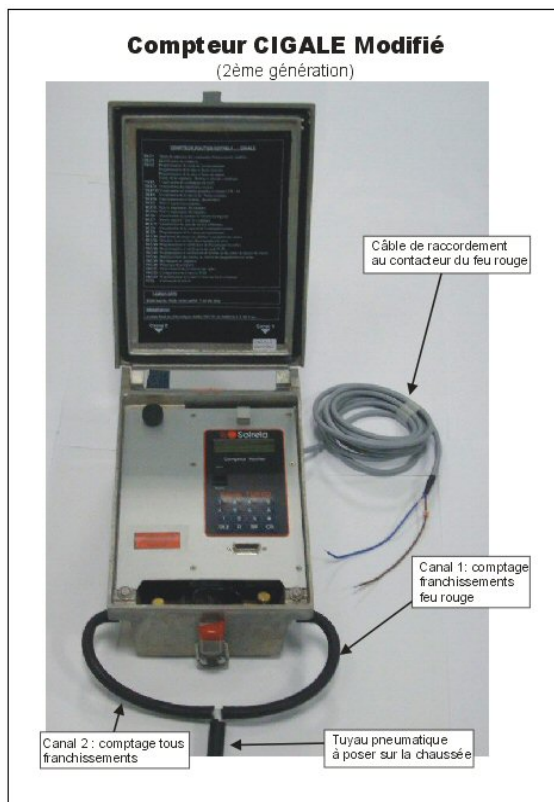


Image 2 - Photo compteur CIGALE (Source : CETE de l'Ouest)

L'analyse des données ainsi recueillies a mis en évidence que certaines campagnes de comptage n'étaient pas exploitables (manque de données ou données incohérentes). Dans ce cas, la semaine correspondante à ces mesures a été retirée des données à analyser. Les problèmes les plus fréquemment rencontrés et pouvant expliquer ce phénomène concernaient les points suivants:

- arrachage des tuyaux pneumatiques,
- panne d'alimentation du compteur,
- travaux sur la voirie,
- positionnement du tuyau difficile à réaliser,
- ...

Globalement le système de mesure utilisé est jugé fiable et les performances des compteurs satisfaisantes compte tenu de l'attention portée à la qualité des installations.

1.3) Les données

Les données théoriques

26 branches de 20 carrefours à feux localisés sur Nantes ont été observées pendant l'année 2009. Compte tenu de difficultés techniques et de la disponibilité des équipements, la durée moyenne d'observation

a été de 2,8 semaines par carrefour sur l'année 2009. Dans la suite de l'étude, on appelle poste, une branche d'un carrefour à feu tricolore. Ainsi, plusieurs postes peuvent se situer sur un même carrefour.

L'unité d'observation retenue est la tranche horaire. Ainsi, le nombre de franchissements sur le poste P_i de la date $jj/mm/aaaa$ entre $xh00$ et $x+01h00$ représente une unité d'observation. Pour chaque poste, nous disposons de 168 observations théoriques par semaine. Au total, pour une année et pour chaque poste, nous avons obtenu $168 \times (2 \text{ ou } 3 \text{ ou } 4 \text{ semaines})^1$ observations théoriques, selon que les mesures ont été effectuées sur 2, 3 ou 4 semaines. Certaines semaines ont dû être retirées des campagnes de mesures, comme cela est précisé dans la partie relative à la description du matériel.

Carrefour (cf plan Image 1)	Feu	Nombre de semaines d'observations	Nombre théorique d'observations horaires	Nombre d'observations horaires exploitées
1	31	3	504	504
1	311	2	336	336
1	3111	3	504	503
2	199s3	4	672	656
2	199s1	2	336	336
2	199s2	3	504	504
3	15s1	4	672	614
3	15s2	4	672	671
3	15s3	2	336	264
4	149	3	504	461
5	183	4	672	640
6	245	3	504	494
7	167	3	504	504
8	1520	2	336	336
9	347	3	504	452
10	328	3	504	503
11	11	2	336	333
12	26	2	336	336
13	133	3	504	503
14	169	2	336	336
15	13	2	336	334
16	20	4	672	650
17	12	3	504	498
18	76	2	336	336
19	137	4	672	672
20	385	3	504	504
Total		75	12600	12280

Tableau 1 : Nombre d'observations horaires recueillies par site

¹ Le nombre de semaines de mesure s'explique par le caractère inexploitable de certaines mesures.

Pour chaque tranche horaire ont été mesurés le nombre de franchissements de feu rouge ainsi que le nombre total de passages (assimilé ici à un débit horaire). Au total, nous avons obtenu 12600 observations théoriques. Le tableau 1 synthétise pour chaque poste suivi, auquel un numéro d'identification a été affecté, le nombre de semaines d'observation et le nombre théorique d'observations horaires pouvant être exploitées. La dernière colonne indique le nombre d'observations horaires retenues dans l'analyse.

Les données retenues dans l'analyse

Certaines données ont été exclues par l'analyse pour différents motifs. Ces motifs relèvent de la fiabilité de leur mesure (a), de l'absence de trafic (b) ou de leur caractère aberrant (c).

- (a) Certaines mesures effectuées ont été jugées non fiables. En accord avec les choix effectués par les « producteurs » de données, 8 semaines de mesure ont été retirées pour les postes suivants (Poste 20 - semaine4; poste 26 - semaine1; poste 311 - semaine1 et - semaine3; poste 3111 - semaine1; poste 199s1 - semaine2; poste 31 - semaine1). Par ailleurs, une observation indiquait un nombre de franchissements supérieur au débit, ce qui est bien entendu impossible. Cette valeur a été supprimée. (Poste 15s1, mai, mardi, 4h).
- (b) Pour certains postes et pour certaines tranches horaires, le trafic était nul (débit horaire nul). Pour ces quelques observations, il a été impossible de calculer un taux de franchissement. Ces observations ont donc été retirées de l'analyse. Il s'agit des observations suivantes : poste 3111 mercredi septembre 14h ; poste 149, mardi août 4h ; poste 347 vendredi mars 3h.
- (c) Certaines données ont été jugées aberrantes. Pour juger du caractère aberrant ou non d'une observation, nous avons raisonné en taux de franchissement. Une observation est jugée aberrante dans la mesure où la valeur du taux de franchissement s'écarte très significativement de la moyenne de l'ensemble de nos observations et de celle constatée par d'autres études (ZELT 2001). Considérons, par exemple, une observation qui présenterait 15 franchissements en une heure. Si le débit est de l'ordre de 1000, nous avons un taux de franchissement de 1,5 % ce qui est en accord avec les valeurs usuellement observées. Si le débit est de 50 et pour un même nombre de franchissements, nous avons alors un taux de 30 % qui lui, constitue une valeur aberrante. En effet, le taux de franchissements observé est 20 fois supérieur. Ainsi, nous observons par exemple que 1 % des taux observés sont supérieurs à 33 % (tableau 2).

Min	Q25 %	Q50 % (Médiane)	Moyenne	Q75 %	Q99 %	Max	Manquant
0	0,38 %	1,12 %	2,80 %	2,32 %	33,33 %	80 %	3

Tableau 2 : Distribution de la variable taux de franchissement observé sur données brutes

Nous avons choisi de considérer comme valeurs aberrantes, les observations pour lesquelles le taux de franchissement feu rouge est supérieur ou égal à 20 %. Ces observations ont donc été supprimées de notre échantillon, ce qui représente une réduction de 2,6 % du nombre d'observations, avec un total de 12280 observations. La distribution de la variable taux de franchissement feu rouge ainsi constituée est présentée dans le tableau 3.

Min	Q25 %	Q50 % (Médiane)	Moyenne	Q75 %	Max	Manquant
0	0,35 %	1,07 %	2 %	2,15 %	19,99 %	0

Tableau 3 : Distribution de la variable taux de franchissement observée sur données à exploiter

La moyenne des taux de franchissement des valeurs ainsi exploitées est de 2 %, valeur compatible avec celle observée sur des études précédentes (ZELT 2001). Si on pondère les observations par le débit constaté, le taux moyen pondéré de franchissements, qui correspond aussi au taux calculé à partir de la totalité des franchissements au rouge par rapport à la totalité des franchissements observés en 2009, s'établit à 1,56 %.

On peut ainsi retenir que sur 100 véhicules par heure qui franchissent un feu tricolore, près de deux conducteurs le font lorsque le feu est rouge. En somme, pour un feu qui présente un débit moyen de 300 véhicules par heure, ce sont donc près de 110 conducteurs qui ne respecteront pas le feu rouge au cours d'une journée.

II) Analyse du nombre de franchissements au rouge

Cette section se propose d'analyser le **nombre** de franchissements au rouge. Il s'agit de quantifier le phénomène, de mieux connaître sa distribution, mais également de le caractériser en fonction de données temporelles (jours, heures) ou géographiques (selon le poste). La répartition selon le mois n'a pas été étudiée, car tous les postes n'ont pas été mesurés sur l'ensemble des mois.

Cette section caractérise les 56 020 franchissements au rouge recensés sur l'année 2009 pour un total d'environ 3 600 000 passages aux feux. L'élaboration d'un modèle économétrique essaie d'estimer les effets marginaux ou propres à chacune des variables.

II.1) Le nombre moyen de franchissements au rouge

Le nombre de franchissements évolue selon l'heure de la journée, le jour de la semaine et le poste considéré. Sur les sites d'observation localisés sur la ville de Nantes, **4,5 franchissements par heure et par poste** en moyenne ont été constatés en 2009 (tableau 4).

Min	Q25 %	Q50 % (Médiane)	Moyenne	Q75 %	Max
0	1	3	4,56	6	81

Tableau 4 : Distribution de la variable nombre de franchissements feu rouge par heure

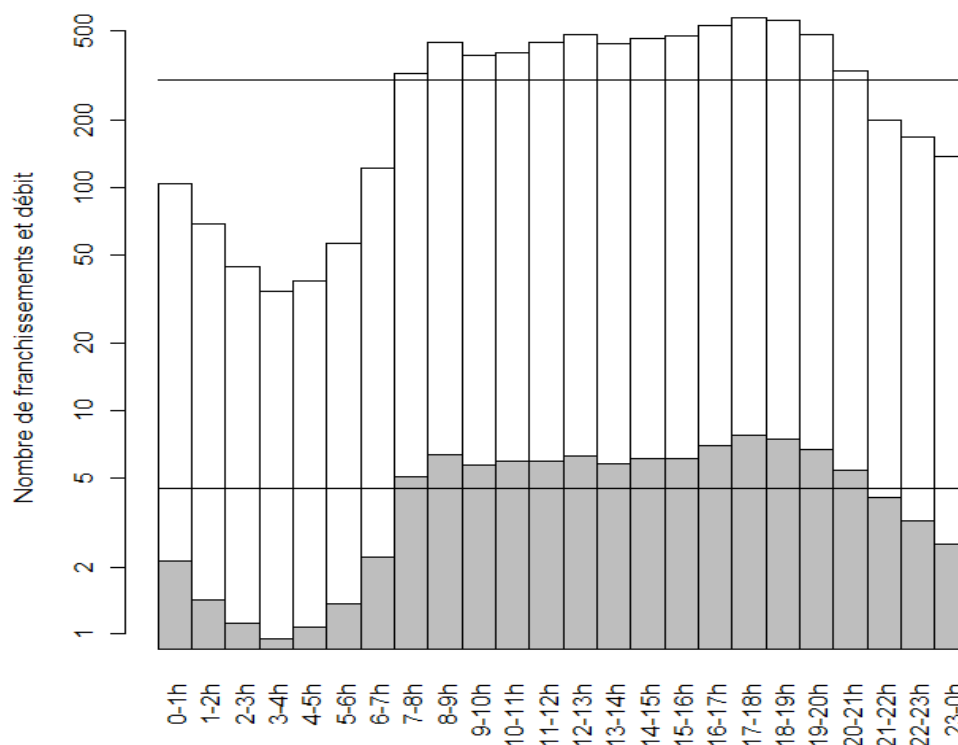
Le tableau 4 met en évidence la distribution de la variable nombre de franchissements horaires pour laquelle on peut noter que 25 % des valeurs observées sont supérieures à 6 franchissements par heure (soit plus d'un franchissement toutes les 10 minutes). Elles peuvent atteindre des valeurs beaucoup plus importantes pour certains postes. L'analyse des données selon des périodes journalières met également en évidence **une moyenne de 108 franchissements par jour et par poste**.

Nous proposons désormais d'étudier plus précisément la répartition des franchissements selon les heures de la journée et les jours de la semaine. Une analyse de la répartition des franchissements selon les postes étudiés est également présentée.

II.2) Évolution du nombre de franchissements au rouge selon l'heure de la journée

108 franchissements par jour et par feu sont observés en moyenne. Le graphique 2 présente la répartition des franchissements selon l'amplitude horaire. Il présente également, pendant les mêmes périodes, le débit

horaire correspondant (selon une échelle logarithmique). Les moyennes des franchissements au rouge et des débits sont représentées par un trait horizontal. Les amplitudes horaires comprises entre 07h00 et 21h00 présentent un nombre moyen de franchissements supérieur à la moyenne, tandis que dans les tranches comprises entre 21h00 et 07h00 le nombre moyen se caractérise par une valeur inférieure (graphique 2). Les valeurs les plus élevées sont constatées pour les amplitudes horaires comprises entre 16h00 et 20h00. Les valeurs les plus faibles sont observées pour les amplitudes horaires comprises entre 00h00 et 06h00. Seuls 5,8 % de la totalité des franchissements ont été observés sur cette plage horaire.

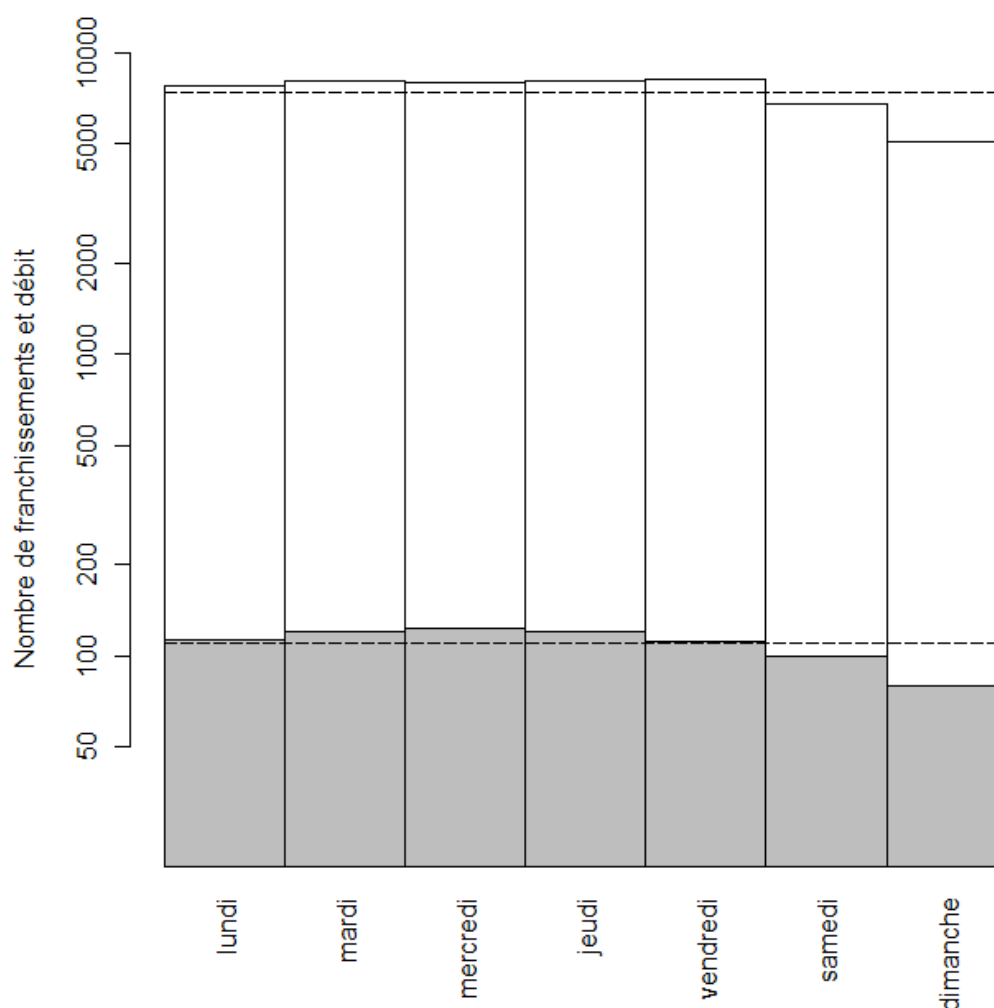


Graphique 2 : Valeurs moyennes horaires du nombre de franchissements et du débit selon l'heure de la journée

On retiendra que **les franchissements sont plus nombreux pour les conduites de jour et aux heures de pointe, pour lesquelles les risques sont les plus importants (notamment vis-à-vis des piétons et des autres usagers vulnérables)**, tandis qu'ils représentent une occurrence plus faible pour les conduites de nuit. Ces différences reflètent peut-être l'importance relative de la circulation.

II.3) Évolution du nombre de franchissements au rouge suivant le jour de la semaine

Le nombre moyen de franchissements au rouge s'établit à un chiffre de près de 110 par jour. Le graphique 3 présente la répartition de ces franchissements selon le jour de la semaine. Il intègre également, pendant les mêmes périodes le débit journalier correspondant (selon une échelle logarithmique). Les moyennes des franchissements au rouge et des débits sont représentées par une droite horizontale discontinue. Les nombres de franchissements les plus importants sont constatés pour les jours en semaine. Les nombres les plus faibles sont observés pour le samedi et surtout pour le dimanche. Ces différences peuvent trouver une explication éventuelle dans la répartition de la circulation, qui est plus importante lors des jours en semaine. On peut noter un nombre de franchissements au rouge plus important le mercredi alors que le trafic y est légèrement plus faible ce jour. Une problématique spécifique concerne sans doute ce dernier.

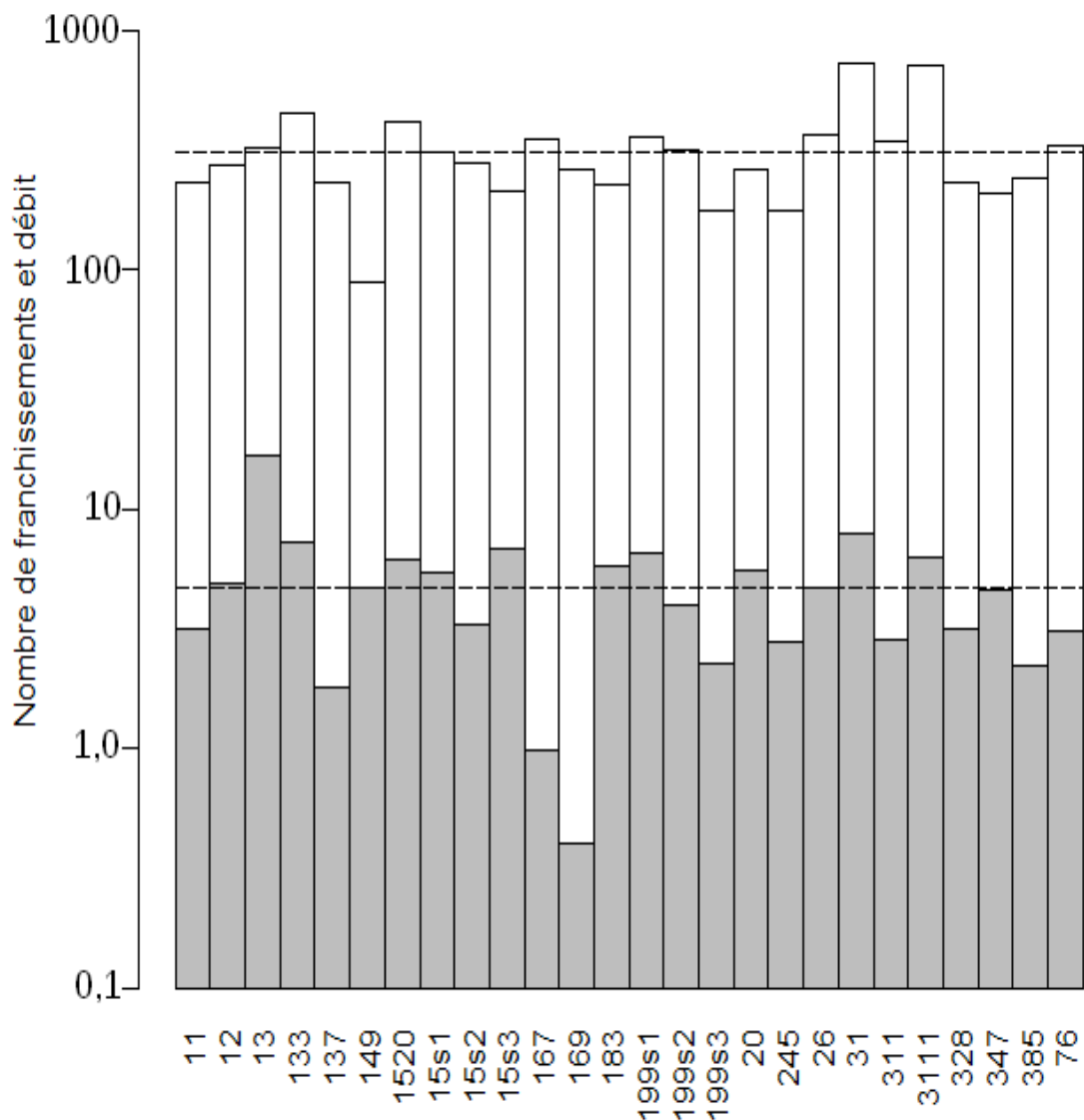


Graphique 3 : Valeurs moyennes du nombre de franchissements par jour et par feu et du débit journalier selon le jour de la semaine

II.4) Évolution du nombre de franchissements au rouge selon le poste

Le graphique 4 présente la répartition des franchissements moyens horaires selon le poste, ainsi que le débit horaire correspondant (selon une échelle logarithmique). Les moyennes des franchissements au rouge et des débits sont représentées par une droite horizontale discontinue.

On observe ainsi en moyenne 4,5 franchissements au rouge par heure et par poste. Les postes n° 13 (Strasbourg-Leclerc) et n° 169 (Stalingrad-Manufacture-Maryland) représentent respectivement les sites où sont observées les moyennes horaires les plus élevées et les plus faibles.



Graphique 4 : Valeurs moyennes horaires du nombre de franchissements et du débit selon le feu mesuré

Les caractéristiques des sites (annexe A) peuvent constituer des éléments de contexte permettant d'expliquer ces différentiels. En effet, le carrefour à feux n° 13 est situé sur la rue de Strasbourg marquée par un trafic dense au-delà des heures de pointe. Ce carrefour assure l'intersection avec une rue perpendiculaire où circulent plusieurs lignes de bus. Ainsi, pour ne pas gêner la circulation de ces bus, un détecteur de bouchon a été installé sur le contrôleur du feu n° 13 afin de générer, en cas de saturation de trafic, des situations de rouge permettant de dégager le carrefour et de faciliter leur circulation. Le feu n° 13 a donc un cycle de rouge classique cumulé avec des rouges permettant le dégagement du carrefour dans des conditions de forte saturation du trafic. Cette caractéristique explique sans doute un nombre de franchissements au rouge plus important que la moyenne. Le carrefour à feux n° 169 permet la gestion d'un passage pour piétons. Il ne se déclenche qu'en fonction de l'appel d'un piéton depuis un bloc spécifique. Les cycles de rouge de ce feu sont donc plus rares et la présence de piétons au moment de son déclenchement permet de crédibiliser sa fonction. Cette modalité particulière de fonctionnement permet d'expliquer un nombre moyen plus faible de franchissements au rouge à ce carrefour par rapport aux autres sites de l'échantillon étudié.

Ces deux carrefours mettent en évidence l'intérêt d'étudier l'impact de la durée de rouge sur les franchissements. L'outil de mesure utilisé (CIGALE-FFR) n'a pas permis le recueil de cette donnée pour ce rapport. Le déploiement d'un autre type d'appareil de mesure pourrait éventuellement intégrer cet aspect. L'intégration de cette dimension permettrait ainsi d'approfondir l'analyse des franchissements en abordant des composantes comportementales liées à la durée de rouge (exposition, crédibilité...).

II.5) Analyse économétrique du nombre de franchissements au rouge

En analysant l'évolution du nombre de franchissements en fonction d'une autre variable, un effet moyen « apparent » de cette variable est mis en évidence. Or cet effet apparent peut constituer un artefact, et de fait traduire l'effet d'une autre variable latente. Dans cette section, nous estimons un modèle explicatif intégrant l'ensemble des variables disponibles. Il s'agit d'expliquer le nombre de franchissements par un modèle de Poisson. Cette approche permet de mettre en évidence l'effet marginal propre à chaque variable, c'est-à-dire son effet propre, en considérant que toutes les autres variables sont égales par ailleurs.

Approche par un modèle de Poisson sur le nombre de franchissements au rouge

Le nombre de franchissements horaires est, par nature, un nombre entier et positif. Nous ne pouvons donc pas employer un modèle linéaire classique pour le modéliser. La méthode classiquement utilisée en économétrie pour expliquer des variables de cette nature consiste à employer un modèle de Poisson.

Nous considérons un modèle de Poisson dans lequel le nombre de franchissements au rouge est estimé en fonction du débit (avec effet polynomial)², de l'heure, du jour et du poste. On suppose que le nombre horaire de franchissements $Nb_{franchissement}$ suit une loi de Poisson de paramètre λ .

² Nous supposons ici que la variable trafic influence le nombre de franchissements de manière directe, mais également par une composante d'ordre 2, 3 voire 4.

ϵ est expliqué par le modèle linéaire suivant :

$$\epsilon = c + \alpha_1 \text{debv} + \alpha_2 \text{debv}^2 + \alpha_3 \text{debv}^3 + \alpha_4 \text{debv}^4 + \alpha_i \text{moment}_i + \alpha_j \text{jour}_j + \alpha_k \text{feu}_k + \epsilon$$

où, c est une constante ; debv le débit horaire par voie.

Pour $i \in \{1; 2; 3\}$, moment_i est une variable indicatrice correspondant à un moment de la journée (respectivement, « Matin », « Après midi », « Soir »).

Pour $j \in \{1; 2; 3; 4; 5; 6\}$, jour_j est une variable indicatrice correspondant à un jour de la semaine (respectivement, lundi, mardi, mercredi, jeudi, vendredi, samedi).

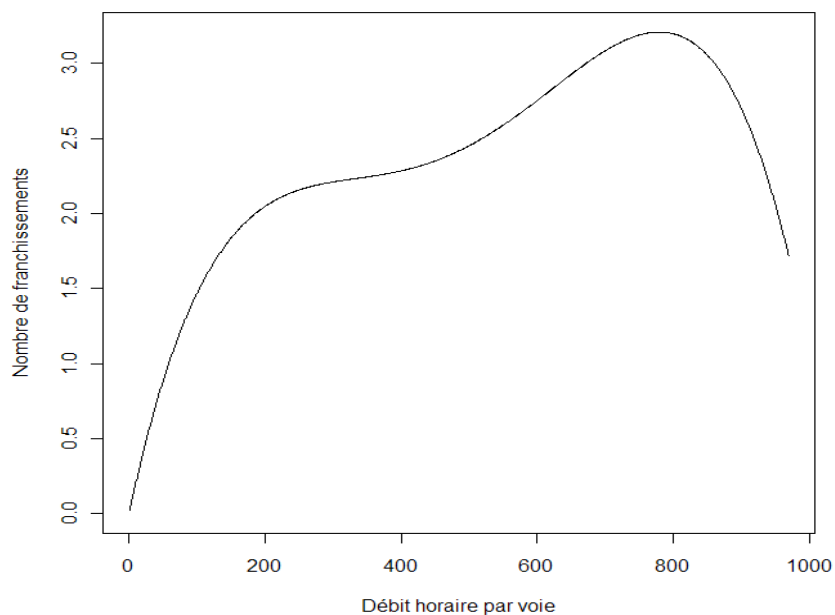
Pour $k \in \{1; 25\}$, feu_k est une variable indicatrice correspondant à l'un des feux.

ϵ est un terme d'erreur supposé vérifier les propriétés classiques pour ce type de modèle.

Compte tenu de la spécification du modèle, les coefficients des indicatrices donnent l'effet d'une certaine modalité sur le nombre de franchissements, par rapport à une modalité de référence. Ici, la référence est le poste 11, le dimanche, et la nuit. Les résultats du modèle sont présentés en annexe B.

L'impact du débit horaire

La variable débit joue un rôle important pour déterminer le nombre de franchissements au rouge. À un débit plus important, le nombre de franchissements sera plus élevé. Cependant, lorsque les conditions de trafic atteignent un certain niveau, le débit joue un effet de frein à la réalisation de franchissements. Sans doute les phénomènes de congestion restreignent les possibilités physiques pour les conducteurs de franchir les feux lorsqu'ils sont au rouge (Graphique 5).



Graphique 5 : Évolution du nombre de franchissements horaires en fonction du débit horaire par voie

Le graphique 5 met en évidence une relation non linéaire entre le débit et le nombre de franchissements au rouge. Nous constatons 4 phases distinctes pour l'influence du trafic sur le nombre de franchissements :

- entre 0 et environ 200 véhicules par heure et par voie, le nombre de franchissements augmente fortement avec le trafic.
- entre 200 et 400 véhicules par voie et par heure, la relation connaît un plateau.
- à partir de 400 véhicules par voie et par heure, le nombre de franchissements redevient fortement sensible au trafic.
- enfin, à partir de 800 véhicules par heure et par voie, nous assistons à un phénomène de saturation. Les franchissements au rouge diminuent avec l'augmentation du débit.

Il est probable que la nature des franchissements diffère selon la phase de circulation pendant laquelle ils se produisent. On peut supposer que les franchissements observés pour les débits inférieurs à 200 véh/h. sont des franchissements « francs » se produisant la nuit, alors que les franchissements observés pendant la phase 3 (entre 400 et 800 véh/h. par voie) constituent sans doute des franchissements d'orange tardifs (rouge de dégagement pendant les premières secondes de rouge) réalisés sous la pression du trafic pendant les heures de pointe. Une analyse plus fine de ces différents franchissements selon la durée de rouge permettrait de vérifier cette hypothèse. Cependant, elle nécessiterait le déploiement, courant 2010, d'appareils de mesures spécifiques de type autoscope ou anaconda.

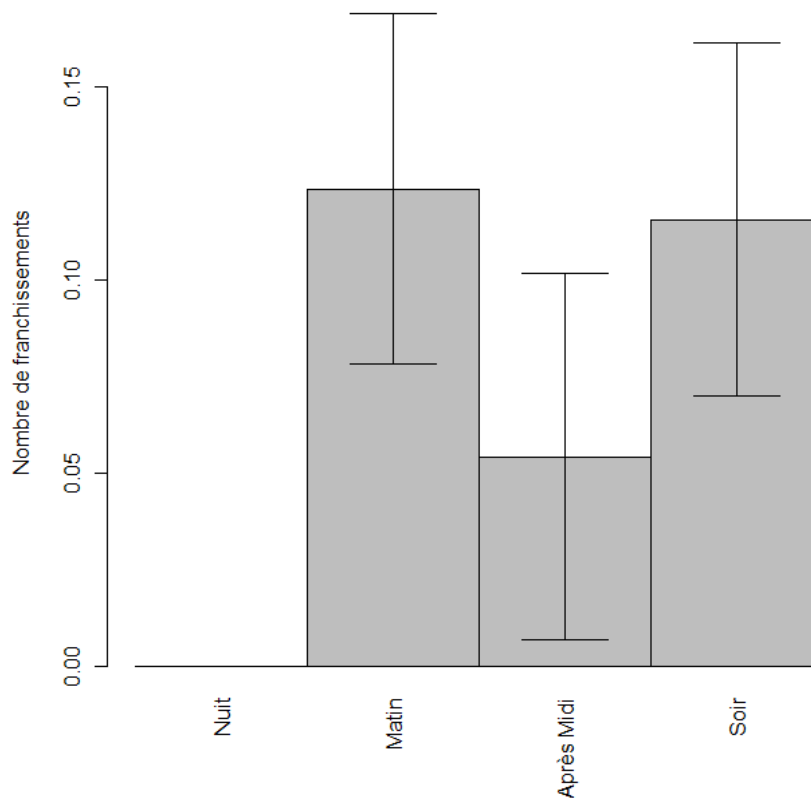
Cette analyse conduit à recommander un contrôle automatisé des feux pour des débits horaires compris entre 200 à 900 véh/h., et plus particulièrement à partir de 400 véh/h., c'est-à-dire des intersections pour lesquelles l'accidentalité est susceptible d'être la plus importante.

L'impact de l'heure

Pour apprécier l'impact de l'heure, nous avons créé une variable « moment de la journée » en regroupant les tranches horaires par catégories. Le tableau 5 présente les modalités de ce regroupement.

Modalité	Heures correspondantes	Notation
Nuit	<i>0h-6h</i>	<i>Nuit</i>
Matin	<i>6h-12h</i>	<i>Matin</i>
Après-midi	<i>12h-18h</i>	<i>Après Midi</i>
Soir	<i>18-00h</i>	<i>Soir</i>

Tableau 5 : Modalités de la variable « Moment de la journée » créée à partir de la variable « heure »



Graphique 6 : Effet du moment de la journée sur le nombre de franchissements horaires

Lorsque le raisonnement est tenu pour toutes choses égales par ailleurs ou *ceteris paribus*, on constate que le nombre moyen de franchissements horaires est supérieur en moyenne de 0,08 en journée par rapport aux heures de la nuit (2h-6h), qui constitue la section horaire de référence. La différence la plus notable concerne les conduites du matin et du soir. La différence est moindre en ce qui concerne les heures d'après-midi. Les heures de travail (aller et retour) peuvent constituer une piste interprétative. Le résultat majeur réside en la mise en évidence d'un effet différencié significatif de l'heure (Graphique 6). Cet effet propre à l'heure de circulation confirme les premiers résultats de l'analyse relative à la répartition des nombres moyens de franchissements selon l'heure.

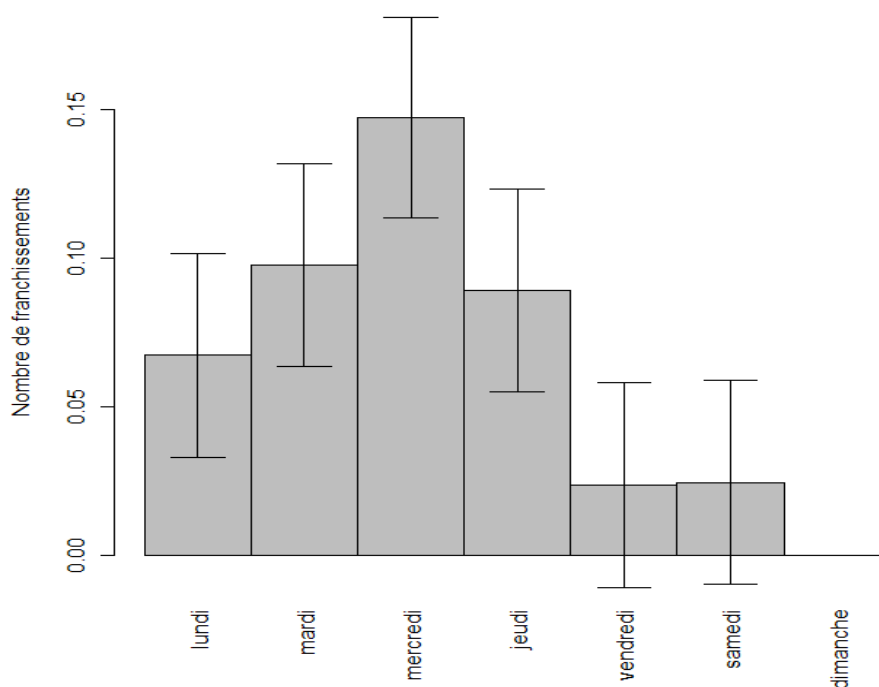
Le modèle permet ici de séparer l'effet propre à l'heure de celui des effets captés par la variable heure, mais qui relevait d'autres variables. En effet, alors que le nombre de franchissements varie de 0 à 3 en fonction du débit, la variable horaire fait varier ce nombre que de 0,12. Cela suggère que les variations observées dans la partie I.2 du nombre de franchissements selon les amplitudes horaires s'expliquent principalement par les débits.

L'impact du jour de la semaine

Le modèle identifie également un effet propre au jour de circulation. À débit et heure constants, on observe en moyenne 0,15 franchissement au rouge supplémentaire pour la journée du mercredi par rapport à celle du dimanche (Graphique 7). L'impact total reste toutefois relativement modéré lorsqu'il est comparé à celui du débit. Le jour n'apparaît donc pas comme un indicateur primordial permettant d'orienter l'utilisation du dispositif.

On observe aussi que le mercredi se distingue des autres jours de la semaine par un nombre de franchissements horaires plus élevé. Cette différence est significative par rapport au lundi, vendredi samedi et dimanche.

La fin de la semaine se caractérise par de plus faibles nombres de franchissements horaires. Les vendredis, samedis et dimanches ne se distinguent pas significativement les uns des autres, mais ont des moyennes significativement plus basses que les journées du début de la semaine.



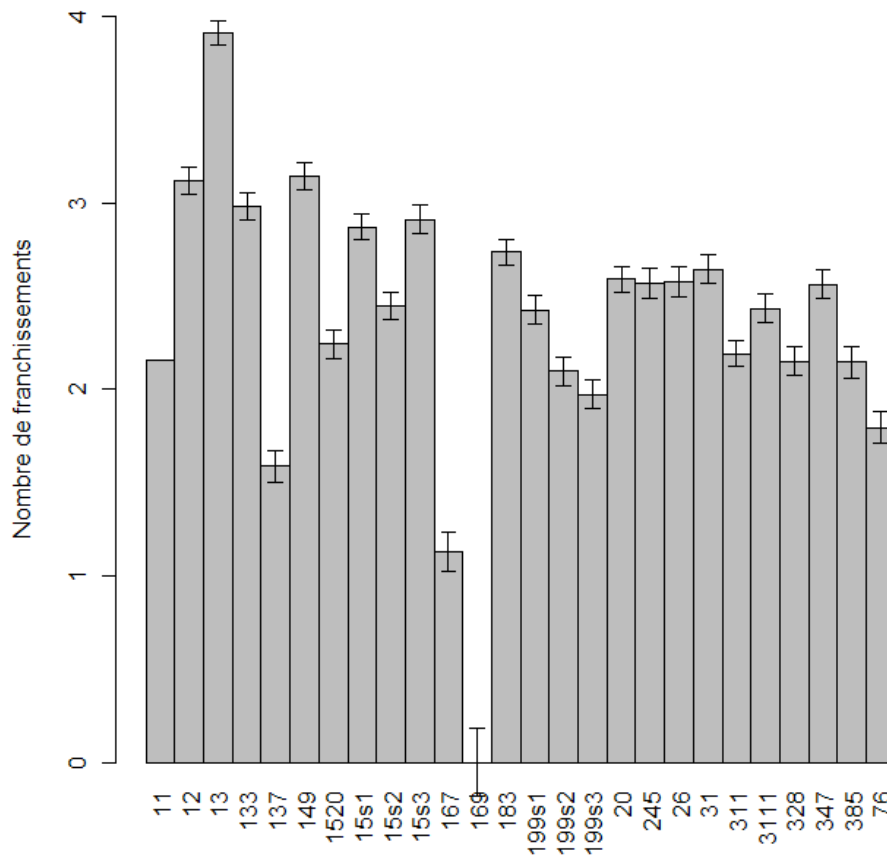
Graphique 7 : Effet du jour sur le nombre de franchissements horaires

L'impact du poste

Le modèle met en évidence un effet significatif selon le poste de mesure. Par ailleurs, l'écart entre le poste présentant le plus grand nombre de franchissements et le poste de référence s'établit à 4. Non seulement les différences sont statistiquement significatives, mais la différence en absolu s'avère importante si celle-ci est comparée au pouvoir explicatif d'autres variables. Les résultats mettent ainsi en évidence

l'influence cruciale des caractéristiques des carrefours pour expliquer les franchissements au rouge (graphique 7).

Ce résultat suggère que toute installation d'un dispositif de contrôle automatisé sur un site présentant un nombre important de franchissements au rouge nécessite une investigation au préalable expliquant cette prévalence particulière.



Graphique 8 : Effet du poste sur le nombre de franchissements horaires

Conclusion

Ces premiers résultats mettent en évidence la prévalence des comportements de franchissements au rouge. Près de 108 franchissements par jour et par poste ont été constatés sur les sites de mesure.

Le plus grand nombre de franchissements au rouge se produit pendant les heures de pointe tout particulièrement et celles de la journée, pendant les jours de la semaine et plus particulièrement le mercredi.

La modélisation montre également qu'un nombre de franchissements important est susceptible de se produire pour des intersections dont le débit horaire est compris entre 200 et 900 véhicules par heure et plus particulièrement au-delà de 400 véhicules par heure et par voie.

Par ailleurs, les plus grandes variations sont constatées par la variable de site. Ainsi, au-delà du moment de la semaine ou de la journée, le choix du site est un critère particulièrement important pour lutter contre les infractions feu rouge.

Si l'on considère que chaque franchissement au rouge représente une source pour un accident potentiel, l'action publique en matière de dissuasion trouvera donc ici quelques pistes d'action pour lutter contre ces infractions au Code de la route.

III) Analyse des taux de franchissement au rouge

L'analyse de la prévalence des franchissements au rouge a permis de dresser une première caractérisation de ce type d'infraction. Cette approche peut néanmoins ne pas être capable d'appréhender les phénomènes associés à l'importance du trafic. En cela, cette analyse, même si elle a le mérite de circonscrire les enjeux liés aux franchissements au rouge s'avère insuffisante dans le cadre d'une démarche interprétative. En effet, un nombre élevé de franchissements au rouge peut cacher un taux de franchissement faible, et inversement. En portant la focale de l'analyse sur les taux plutôt que sur les nombres de franchissements, le modèle permet d'aborder les dimensions comportementales qui sont à l'œuvre dans le phénomène de franchissement. L'analyse des taux permet ainsi d'explorer les facteurs qui expliquent la *propension* des usagers à franchir un feu rouge.

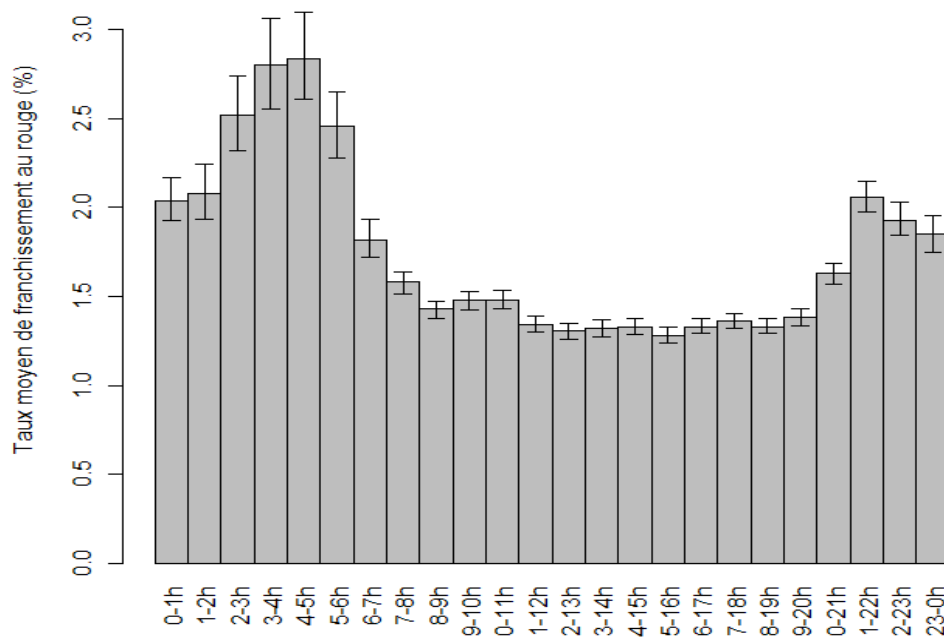
Dans cette section, nous proposons une analyse en termes de taux de franchissement. Nous supposons que la propension des usagers à franchir des feux rouges dépend entre autres des conditions de circulation, elles-mêmes dépendant de l'importance du trafic, du jour de la semaine, de l'heure de la journée et des caractéristiques du site de mesure (que retranscrit dans une certaine mesure l'effet poste).

Notons que raisonner en termes de taux de franchissement au rouge conduit à normaliser le nombre de franchissements au rouge par le débit horaire mesuré sur le feu.

III.1) Analyse du taux de franchissement suivant l'heure de la journée

Le taux moyen de franchissement par amplitude horaire est de 1,56 %. Cette moyenne est inférieure à celle observée par l'étude ZELT (2001) qui affichait un taux moyen de franchissement de 2,9 % sur la ville de Toulouse en 2001. On notera également que **les taux atteignent un chiffre de 3 % pour les amplitudes horaires comprises entre 03h00 et 05h00**, alors qu'ils s'établissent à moins de 1,5 % pour les amplitudes comprises entre 07h00 et 20h00 (Graphique 9). Si une comparaison est établie avec les nombres de franchissements, on remarque que le constat est inversé. Pour les tranches horaires qui présentent les nombres de franchissements au rouge les plus importants, les taux de franchissement sont les plus faibles et inversement.

En conséquence, les situations pour lesquelles les débits de circulation sont importants se caractérisent par des nombres de franchissements significativement plus élevés du fait de flux de circulation conséquents, et quand bien même les taux de franchissements sont plus faibles. Le fait que les usagers aient une propension plus importante à franchir les feux rouges de nuit que le jour peut s'expliquer d'un point de vue comportemental par le fait que les trafics nocturnes sont généralement faibles. La légitimité du feu rouge s'en trouve donc diminuée. Certaines villes passent d'ailleurs l'ensemble de leurs feux au clignotant orange durant la nuit. La probabilité de collision plus faible en cas de franchissement nocturne participe certainement à ce processus de dé-légitimation.



Graphique 9 : Taux moyen de franchissement au rouge selon l'heure

On peut également noter que, pour certains feux, des taux de franchissement de près de 20 % peuvent être observés selon certaines amplitudes horaires, nocturnes pour l'essentiel (tableau 6 dont la colonne IC 95 indique la demi-amplitude de l'intervalle de confiance à 95 %). En conséquence, dans certaines circonstances, un véhicule sur cinq franchit en toute illégalité le feu rouge.

Heure	Taux moy	max	IC 95	Debit moy
1	2.04	19.82	+/- 0.12	104
2	2.08	19.18	+/- 0.15	68
3	2.52	19.3	+/- 0.21	44
4	2.8	16.67	+/- 0.26	34
5	2.84	18.75	+/- 0.24	38
6	2.46	19.44	+/- 0.18	56
7	1.82	18.75	+/- 0.11	122
8	1.58	19.03	+/- 0.06	323
9	1.43	19.9	+/- 0.05	444
10	1.48	18.18	+/- 0.05	388
11	1.48	17.02	+/- 0.05	399
12	1.34	16.97	+/- 0.05	442
13	1.31	18.58	+/- 0.04	479
14	1.32	12.9	+/- 0.05	442
15	1.33	15.17	+/- 0.05	460
16	1.28	15.09	+/- 0.04	473
17	1.33	15.45	+/- 0.04	527
18	1.36	17.14	+/- 0.04	572
19	1.33	17	+/- 0.04	558
20	1.38	15.38	+/- 0.05	483
21	1.63	14.39	+/- 0.06	334
22	2.06	19.59	+/- 0.09	199
23	1.93	19.91	+/- 0.09	167
24	1.85	19.21	+/- 0.1	137

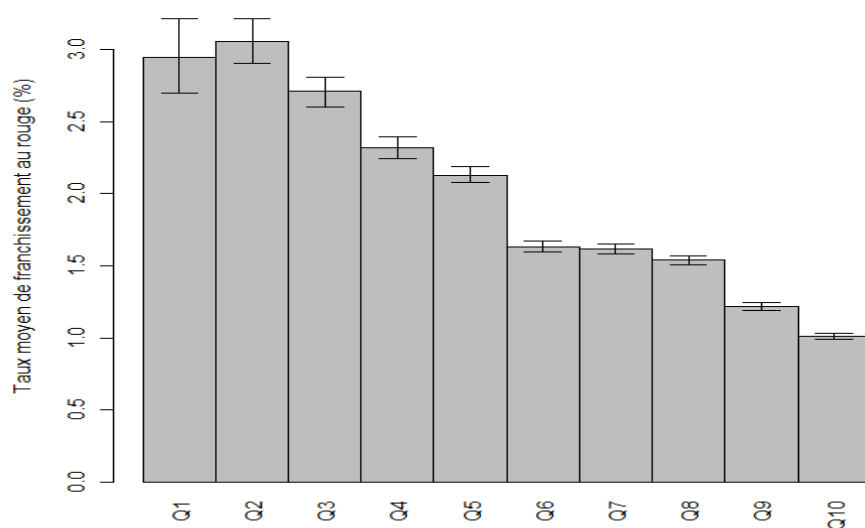
Tableau 6 : Taux moyen de franchissement au rouge selon l'heure

Ces premiers chiffres sur les taux de franchissement indiquent que l'heure constituerait une dimension importante pour expliquer les franchissements au rouge.

III.2) Analyse du taux de franchissement suivant le débit horaire

Le graphique 10 met en relation les taux de franchissement avec chaque décile de la variable de débit. Cette démarche consiste à étudier la variable taux de franchissement au rouge en fonction d'effectifs constituant 10 % des débits horaires.

On note ainsi que les observations pour lesquelles le débit horaire appartient à la tranche des 10 % les plus faibles présentent un taux de franchissement de 2,95 % qui est près de trois fois supérieur à celui de la tranche des débits horaires des 10 % les plus élevés (1,01 %). Il apparaît ici clairement que le taux de franchissement est d'autant plus faible que le débit est important



Graphique 10 : Taux moyen de franchissement au feu rouge selon le décile de débit

III.3) Analyse du taux de franchissement selon le jour

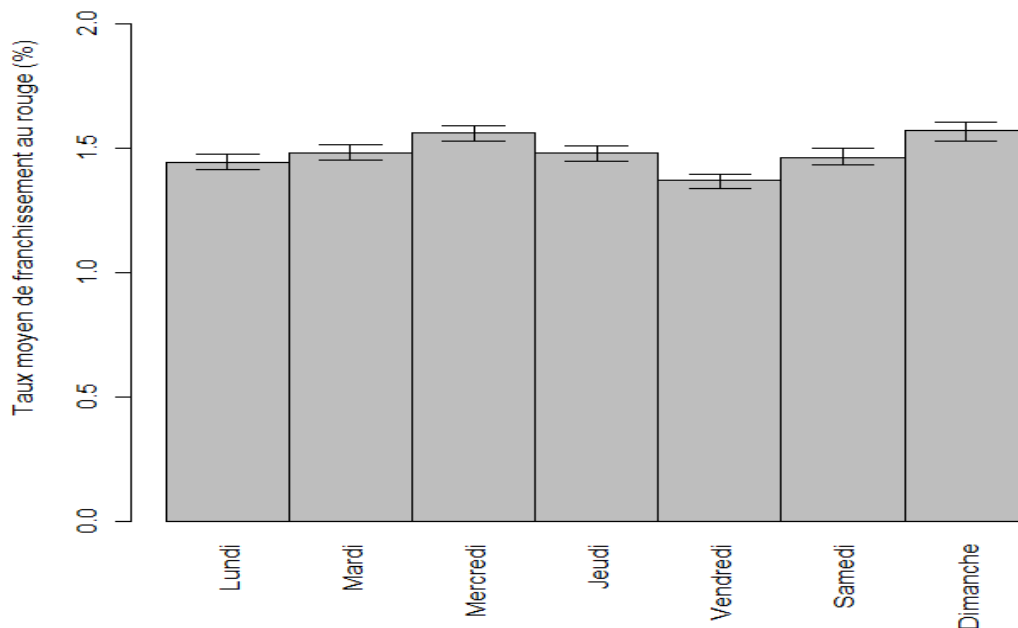
L'analyse des taux de franchissement selon le jour de la semaine met en évidence une certaine homogénéité. Seul le vendredi se caractérise par un taux plus faible, tandis que le mercredi et le dimanche présentent des taux plus élevés (Tableau 7).

Jour	Taux_moy	max	IC 95	Débit moyen
lundi	1.44	19.35	+/- 0.03	324
mardi	1.48	19.57	+/- 0.03	337
mercredi	1.56	19.91	+/- 0.03	331
jeudi	1.48	19.23	+/- 0.03	339
vendredi	1.37	18.75	+/- 0.03	340
samedi	1.46	19.44	+/- 0.03	284
dimanche	1.57	19.82	+/- 0.04	211

Tableau 7 : Taux moyen de franchissement au rouge selon le jour

Par rapport à l'analyse en niveau, les différences entre les jours de la semaine et les jours de fin de semaine s'estompent.

Seul le mercredi présente à la fois un taux de franchissement élevé et un nombre de franchissements élevé, caractéristiques pour lesquelles nous n'avons pas d'explication a priori, alors que le trafic est légèrement plus faible le mercredi que les autres jours de la semaine (graphique 11).



Graphique 11 : Taux moyen de franchissement au rouge selon le jour

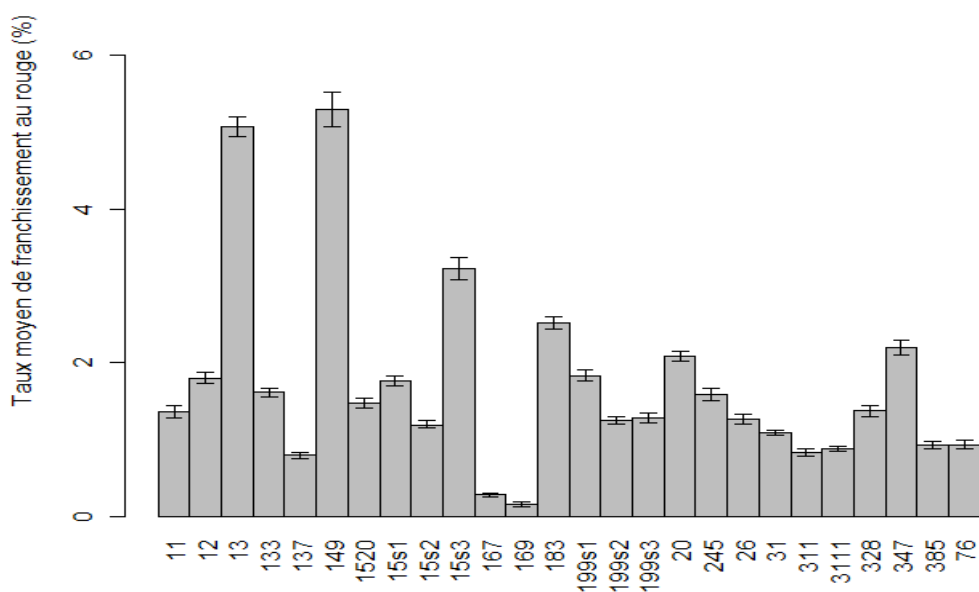
III.4) Analyse du taux de franchissement selon le poste

L'analyse des taux moyens de franchissement selon le poste (branche de carrefour à feux) souligne une grande variabilité (tableau 8 et graphique 12).

Ces résultats confirment ceux obtenus par l'analyse sur le nombre de franchissements, à savoir l'importance des caractéristiques des sites sur les comportements. Il ne s'agit pas ici d'affirmer que tel site conduit le conducteur à commettre ou non l'infraction, mais à souligner que les conditions d'aménagement de l'intersection offrent plus ou moins d'opportunité de commettre l'infraction « franchissement du feu au rouge ».

Poste	Taux moyen	max	IC 95	Débit_moyen
31	1.36	12.5	+/- 0.08	233
311	1.8	16.67	+/- 0.07	274
3111	5.08	19.91	+/- 0.13	327
199s3	1.61	18.18	+/- 0.05	456
199s1	0.79	8.71	+/- 0.04	230
199s2	5.3	19.35	+/- 0.22	89
15s1	1.47	11.11	+/- 0.06	418
15s2	1.76	19.74	+/- 0.06	309
15s3	1.19	17.36	+/- 0.05	278
149	3.22	19.57	+/- 0.15	213
183	0.28	9.52	+/- 0.02	355
245	0.15	2.27	+/- 0.03	262
167	2.52	19.9	+/- 0.08	227
1520	1.28	17.65	+/- 0.06	178
347	1.83	9.05	+/- 0.08	360
328	1.25	5.56	+/- 0.05	320
11	2.08	19.59	+/- 0.07	265
26	1.58	17.65	+/- 0.08	175
133	1.27	14.29	+/- 0.06	367
169	1.08	11.36	+/- 0.03	728
13	0.83	12.5	+/- 0.05	346
20	0.88	10.48	+/- 0.03	712
12	1.37	15.38	+/- 0.07	230
76	2.19	18.75	+/- 0.09	209
137	0.92	11.11	+/- 0.05	241
385	0.93	3.85	+/- 0.06	333

Tableau 8 : Taux moyen de franchissement au rouge selon le poste



Graphique 12 : Taux moyen de franchissement au rouge selon le poste

On observe que les taux de franchissement évoluent très fortement d'un poste à l'autre. Précédemment, on a expliqué ce phénomène pour les feux n° 13 et 169 par l'analyse de contexte.

Le feu n° 149 (Hôtel de Ville) est caractérisé ici par un taux de franchissement au rouge plus élevé que la moyenne bien que l'analyse en nombre de franchissements pour ce carrefour ne met pas en évidence de différence significative. Néanmoins, nous pouvons noter un débit inférieur sur ce site qui fonctionne dans des conditions de circulation particulières les jours de marché compte tenu de sa proximité avec la Cour des 50 otages (fermé à toute circulation le samedi). Ces conditions d'exploitation particulières avec une circulation modifiée vers la Cour des 50 otages peuvent expliquer un changement de comportement vis-à-vis de la phase de rouge. Les autres jours de la semaine, en conditions normales de circulations, un usager en attente au feu 149 dispose d'une très bonne visibilité sur le passage au rouge de la branche en conflit, ce qui peut lui faciliter l'anticipation du passage au vert.

III.5) Analyse économétrique des taux de franchissement au rouge

Dans cette section, on se propose d'analyser les taux de franchissement par un modèle explicatif. Le modèle économétrique mobilisé consiste en l'estimation d'un modèle logistique. L'emploi du modèle logistique est en effet tout particulièrement adapté à l'analyse de choix discret. L'analyse repose sur l'hypothèse que chacune des observations fait état du choix d'un automobiliste de respecter ou non le feu rouge (choix discret). Les taux de franchissement étudiés précédemment donnent la propension moyenne de l'usager à franchir les feux rouges. Ce modèle va permettre l'estimation de l'effet marginal propre à chacune de nos variables d'étude sur cette propension.

Approche par un modèle logistique sur le taux de franchissement au rouge

Pour procéder à cette estimation, une transformation logistique sur les taux observés est réalisée. Par la suite, cette variable est expliquée par un modèle linéaire estimé par la méthode des moindres carrés ordinaire. Le modèle prend la forme suivante.

La variable (l_{taux}) résulte de l'application de la transformation logistique à la variable « taux » (de franchissement au rouge). Cette transformation s'écrit :

$$l_{\text{taux}} = \log \left(\frac{\text{taux}}{1 - \text{taux}} \right)$$

Ensuite, la variable l_{taux} est estimée par un modèle linéaire classique, qui s'écrit comme ci-dessous :

$$l_{\text{taux}} = c + \alpha_1 \text{debv} + \alpha_2 \text{debv}^2 + \alpha_3 \text{debv}^3 + \alpha_4 \text{moment}_i + \alpha_j \text{jour}_j + \alpha_k \text{feu}_k$$

où,

c est une constante ; debv le débit horaire par voie.

Pour $i \in \{1; 2; 3\}$, moment_i est une variable indicatrice correspondant à un moment de la journée (respectivement, « Matin », « Après midi », « Soir »).

Pour $j \in \{1; 2; 3; 4; 5; 6\}$, $jour_j$ est une variable indicatrice correspondant à un jour de la semaine (respectivement, lundi, mardi, mercredi, jeudi, vendredi, samedi).

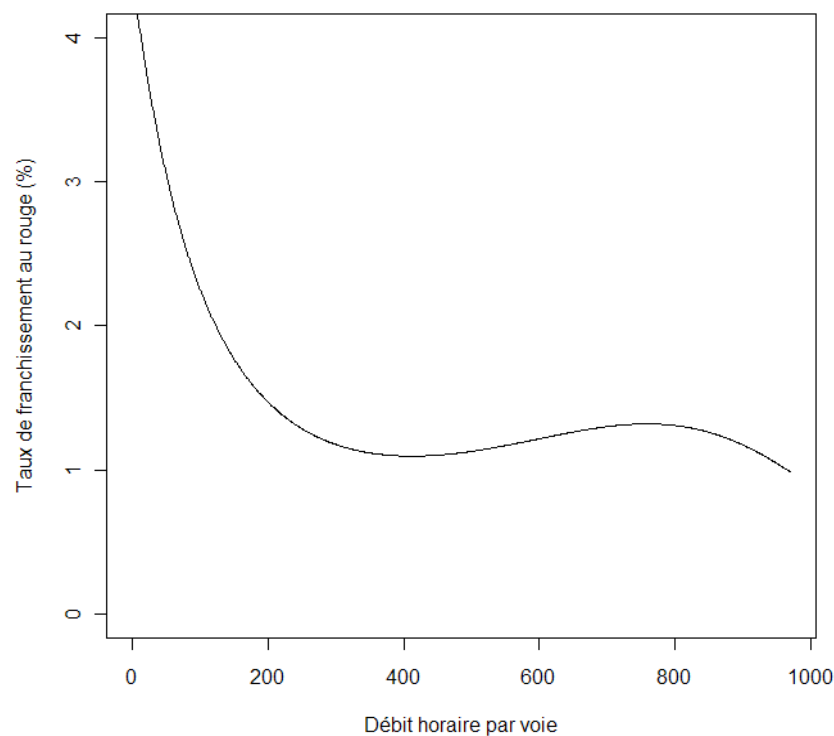
Pour $k \in \{1 : 25\}$, feu_k est une variable indicatrice correspondant à l'un des feux.

ϵ est un terme d'erreur supposé normalement distribué et centré en 0.

Compte tenu de la spécification du modèle, les coefficients des indicatrices nous donnent l'effet d'une certaine modalité sur le taux de franchissement, par rapport à une modalité de référence. Ici, la référence est le poste 11, le dimanche, et la nuit. Par ailleurs, on peut s'attendre, compte tenu des résultats estimés du modèle d'explication des nombres de franchissements horaires, à ce que le taux de franchissement présente un effet polynomial d'ordre 3 du trafic.

L'annexe C présente les résultats obtenus par l'estimation. La dernière colonne du tableau indique la probabilité pour que l'effet de la variable mesurée soit significatif statistiquement. Les graphiques présentent les intervalles de confiance à 95 % des variables. Du fait de l'utilisation d'une transformation logistique, les effets des variables observées ne sont pas linéaires. Plus précisément, l'impact marginal d'une variable ne sera pas identique selon la valeur prise par les autres variables. La transformation étant monotone, la forme prise par les effets est conservée par la transformation. En conséquence, l'amplitude de l'impact des variables doit être considérée à titre indicatif.

L'impact du débit horaire

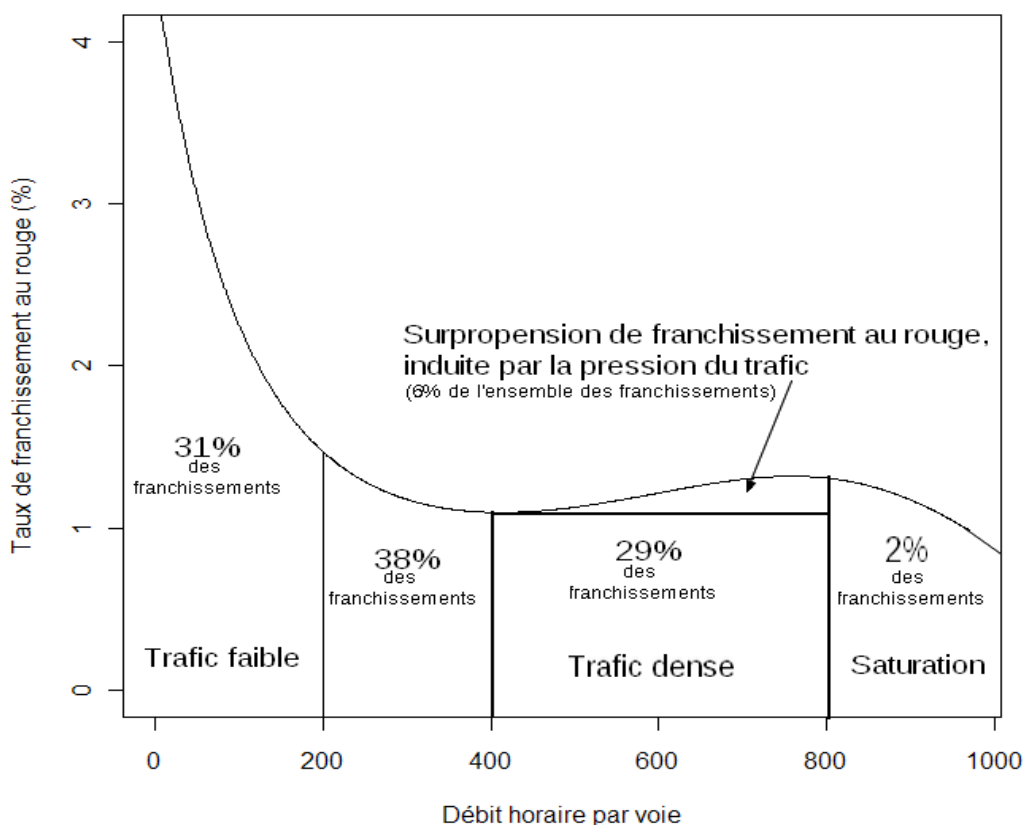


Graphique 13 : Effet du débit sur les taux de franchissement au rouge

Le graphique 13 met en évidence une relation non linéaire entre le débit et le taux de franchissement au rouge. Toutes choses étant égales par ailleurs, le taux de franchissement sera d'autant plus élevé que le débit sera faible. Au-delà d'un certain seuil (400 veh/h.), le taux de franchissement augmente avec le débit puis se stabilise avant de décroître de nouveau.

L'analyse met en évidence l'existence de deux types de comportements distincts en matière de franchissements. Pour des faibles débits horaires, le conducteur franchit les feux de circulation avec une faible probabilité de rencontrer un autre véhicule sur l'autre axe. Ce taux de franchissement diminue progressivement avec le débit horaire pour atteindre un minimum pour un trafic horaire autour de 400 véhicules par voie. Pour des débits élevés, le taux de franchissement pourrait s'expliquer par une volonté de forcer le feu rouge compte tenu des conditions de congestion ou de rouge de dégagement (franchissements dans les premières secondes de rouge), phénomène préalablement observé par une autre étude (Dik, 2009). Dans les deux cas, les franchissements de feu rouge ne se feraient pas de manière inconsidérée par rapport à la prise de risque. Au contraire, ces franchissements s'expliqueraient par des conditions de circulation ressenties comme relativement sécurisées. Cette hypothèse devra être confirmée par la réalisation d'études ultérieures concernant les franchissements selon la durée de rouge.

L'effet de saturation identifié dans le cadre de l'analyse sur les nombres de franchissements (graphique 5) est confirmé par l'analyse en taux pour un débit horaire supérieur à 800 veh/h. Néanmoins, l'existence de tels comportements ne doit pas masquer l'existence de franchissements au rouge plus problématiques pour des conditions de circulation moins sécurisées.



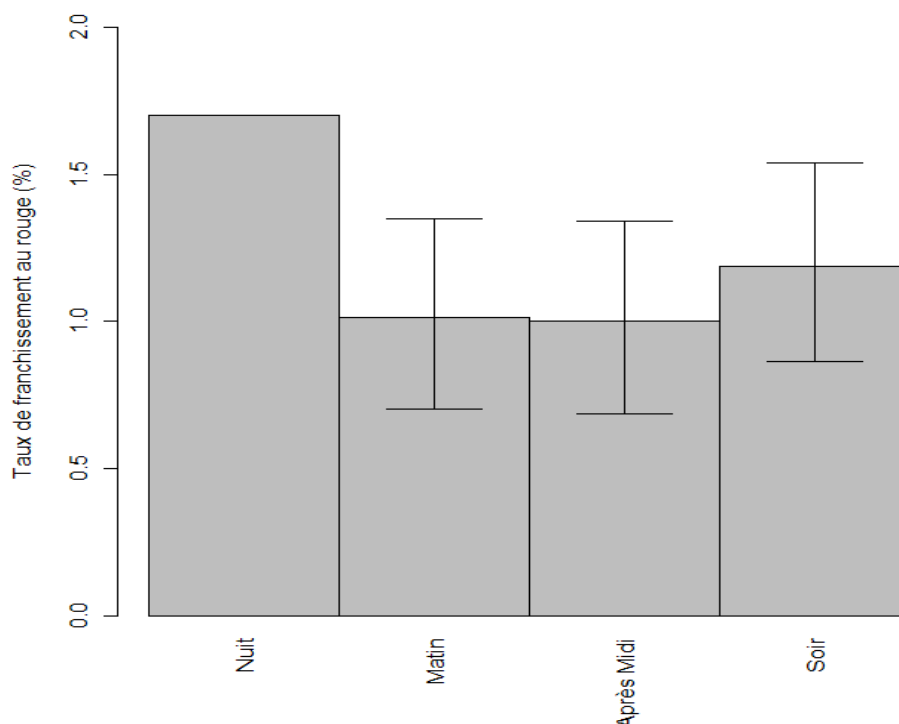
Graphique 14: Répartition des franchissements suivant les profils de trafic

Des « profils » distincts en matière de franchissement au rouge émergent, il est nécessaire de les quantifier (graphique 14). Aux extrêmes, la part des franchissements observés pour les trafics inférieurs à 200 véhicules/heure/voie représente 31 % de l'ensemble des franchissements. Au-delà de 800 véhicules par heure et par voie, on identifie un effet de saturation qui ne représente que 2 % des franchissements. La grande majorité des franchissements a lieu pour des trafics compris entre 200 et 800 véhicules/heure/voie (67 %). Plus particulièrement, on observe une surpropension au franchissement entre 400 et 800 véhicules/heure/voie. Sans doute ces franchissements résultent-ils de rouge forcé, sous la pression du trafic.

L'impact de l'heure

Dans cette partie, nous reprenons la variable « moment de la journée » définie dans le tableau 5. Lorsque l'analyse considère l'effet de cette variable, les résultats du modèle soulignent, que la seule tranche horaire qui se distingue des autres est celle comprise entre 0h et 6h du matin. Toutes choses étant égales par ailleurs, le taux de franchissement est supérieur de 1,5 point de pourcentage durant cette période (graphique 15).

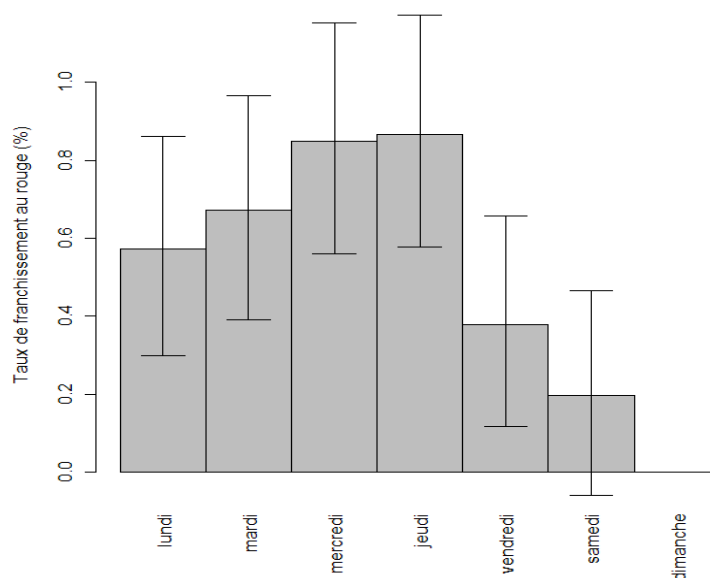
Les taux de franchissement sont significativement plus élevés la nuit que pour les autres moments de la journée, et ce à débit constant. Cette différence peut atteindre une propension plus importante au franchissement de plus de 0,5 %. Ce résultat est cohérent avec l'analyse en niveau. Au-delà de l'effet propre au trafic, la circulation de nuit permettrait de détecter l'arrivée d'un véhicule sur l'axe adjacent, et donc de pouvoir franchir le feu avec une « impression de sécurité ». De plus, l'usager peut considérer que la probabilité d'être interpellé pour cette infraction est relativement plus faible de nuit que de jour.



Graphique 15 : Effet de l'heure sur les taux de franchissement au rouge

L'impact du jour de la semaine

L'analyse relative à l'impact du jour sur les taux de franchissement relativise les résultats de l'analyse univariée (graphique 16) en neutralisant l'effet qui pourrait être associé au débit.



Graphique 16 : Effet du jour de la semaine sur les taux de franchissement au rouge

Toutes choses étant égales par ailleurs, la fin de semaine se caractérise par des taux de franchissement significativement moins importants. Pour ce qui concerne les jours de la semaine, les taux de franchissement connaissent un niveau plus élevé pour le mercredi, où la propension plus importante au franchissement du rouge peut atteindre 0,8 %.

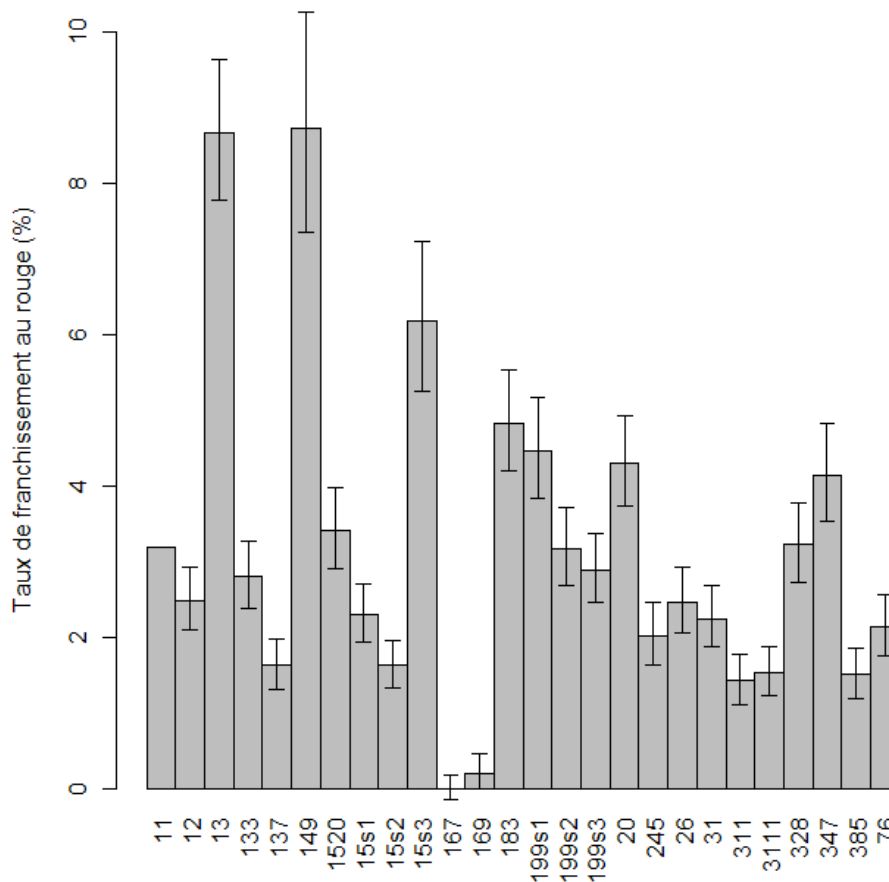
Une interprétation de nature comportementale peut être avancée. L'acte de franchissement du feu rouge trouve sa motivation première dans le refus de l'utilisateur de subir ce qu'il perçoit comme une perte de temps. Or, les jours de fin de semaine étant chômés pour une grande partie des usagers, on peut supposer que leur valeur du temps est moins élevée pour ces jours, ce qui tend à rendre moins « rentable » l'infraction au rouge.

L'impact du poste

La prise en compte de la variable poste dans l'analyse économétrique confirme ce qui a été observé dans le cadre de l'analyse univariée.

C'est autour de la variable poste que sont observées les plus grandes variations de taux de franchissement au rouge. La différence entre les postes présentant le taux de violation le plus important et ceux ayant le taux le plus faible s'établit à 8 points de pourcentage (graphique 17). En conséquence, un soin

particulier doit être porté aux caractéristiques des intersections pour déterminer les enjeux en termes de sécurité routière.



Graphique 17 : Effet du poste sur les taux de franchissement au rouge

Conclusion

Cette section s’est attachée à déterminer les variables déterminantes du taux de franchissement au rouge. On retiendra que la variabilité (comprise comme l’écart entre le taux maximum observé et le taux minimum observé sur les différentes modalités de la variable) entre les taux moyens de franchissement est la plus importante pour la variable poste, suggérant ainsi que les caractéristiques en termes d’aménagement, de fonctionnement des feux (réglages) et d’environnement routier sont déterminantes pour comprendre le franchissement des feux rouges (tableau 9).

La variable débit horaire influence aussi de manière considérable le taux de franchissement feu rouge comme l’heure de circulation. Des effets moins marqués peuvent être attribués au jour.

Variable	Amplitude de variation du taux de franchissement Sous l'effet de la variable	
	Effet moyen apparent	Effet marginal propre
Poste	4,50%	8,00%
Débit	2,00%	3,00%
Heure	1,50%	0,70%
Jour	0,50%	0,60%

Tableau 9 : Amplitude de variation du taux de franchissement imputable aux différentes variables explicatives

On retiendra également ces quelques résultats relatifs aux taux de franchissement :

- Le taux moyen de franchissement au rouge s'établit à 1,56 % sur les sites investigués ;
- Le taux moyen de franchissement atteint 3% entre 4h et 5h00 contre 1,3 % aux heures les plus circulées, des différences marquées existent donc selon les tranches horaires ;
- Les taux de franchissement sont les plus élevés les mercredis et les dimanches ;
- Les taux de franchissement varient fortement en fonction du débit. Au-delà de 800 véh/h., un phénomène de saturation se produit et conduit à réduire « mécaniquement » le taux de franchissement. Franchir le feu rouge n'est plus possible techniquement. Toutefois, les conditions de circulation à faible trafic constituent des opportunités pour ne pas respecter la réglementation. En cela, il existe une rationalité à l'œuvre de la part des usagers ;
- Les taux de franchissement dépendent beaucoup des caractéristiques de sites, techniques ou environnementales, nécessitant de circonscrire celles-ci et d'en tenir compte dans la modélisation ;

Une analyse des taux de franchissement offre une perspective différente sur le phénomène du franchissement de feu rouge. Alors que les heures de pointe présentent le nombre de franchissements le plus élevé, ce sont les conduites de nuit qui se caractérisent par une propension plus élevée à franchir les feux au rouge de la part des usagers. De même, alors que les évolutions du nombre de franchissements accompagnent celles du trafic, la propension des usagers à franchir un feu au rouge est d'autant plus forte que le trafic est faible. Le phénomène des franchissements de feu rouge, et sa composante comportementale, « la propension des usagers à franchir le rouge », répondent donc à deux phénomènes structurants distincts. Ce résultat met en évidence la dualité existant entre les deux objectifs de l'action publique de sécurité routière : limiter le nombre de situations accidentogènes et faire changer les comportements à risques.

Conclusion générale

Cette étude propose une première caractérisation des franchissements illégaux de feu rouge sur l'agglomération nantaise. Elle constitue la première étape, l'analyse de l'état 0, d'une recherche menée sur l'impact du contrôle automatisé feu rouge sur les franchissements de feu.

Les résultats obtenus représentent des premiers éléments de réflexion sur la compréhension des enjeux relatifs aux franchissements au rouge. Ces résultats doivent être pris avec la prudence nécessaire. Ils ne doivent pas conduire à une surinterprétation ou à une généralisation hâtive, qui consisterait à considérer ces résultats comme représentatifs de l'ensemble du territoire. Les informations collectées concernent l'agglomération nantaise et la possibilité de généraliser les résultats obtenus reste à démontrer.

Les résultats obtenus peuvent être affinés par la réalisation d'études complémentaires. Plusieurs orientations sont possibles. Il conviendrait dans un premier temps de poursuivre l'analyse par la réalisation de l'état 1, caractérisée par l'installation de dispositifs de contrôles automatisés feu rouge. Depuis le début de l'année 2010, plusieurs dispositifs sont opérationnels sur l'agglomération nantaise. La réalisation de l'état 1 permettrait la comparaison entre les deux états, aidant à circonscrire les impacts du dispositif de contrôle sur les franchissements. Cette étape a fait l'objet d'une fiche de projet déposée auprès de la DSCR dans le cadre des travaux réalisés au sein de l'ERA « Analyse de l'action publique de sécurité routière ».

Une autre extension possible de ce travail consisterait en l'analyse simultanée de l'ensemble d'états 0 et 1 sur plusieurs sites de mesure répartis sur le territoire. Il s'agirait alors de disposer d'une analyse représentative relative à l'impact national du contrôle automatisé sur les franchissements de feu.

Il reste que cette première étude met en évidence la prévalence des franchissements de feu. Le taux moyen de franchissement s'établit à environ 1,5 %. Lorsque ce taux se traduit en nombre de franchissements, ce sont environ 110 franchissements par jour qui se produisent pour un feu présentant un débit de 300 véhicules par heure. Le franchissement de feu ne constitue donc pas un phénomène rare. Fort heureusement, toutes les situations de franchissement ne se traduisent pas par la constatation d'un accident. Cependant, elles constituent autant d'occasions pour lesquelles le Code de la route n'est pas respecté, et qui peuvent se traduire par la réalisation d'un préjudice. Par ailleurs, ce taux moyen ne doit pas masquer l'existence d'une hétérogénéité des taux de franchissement entre les différents sites et des conditions de réalisation fort différentes pour cette infraction (caractéristiques des intersections, importance du trafic...).

L'analyse des franchissements souligne l'influence du jour de la semaine, de l'heure de la journée, du trafic et des caractéristiques de l'intersection pour expliquer la réalisation des franchissements de feu. Cependant, les variables cruciales sont constituées par le trafic et les caractéristiques physiques du feu. La prévalence des franchissements est relativement plus importante pour des débits de circulation compris entre

500 et 800 véhicules par heure et par voie. Cette première indication constitue une information cruciale pour les autorités pour équiper certaines intersections.

L'analyse en termes de taux de franchissement consiste à normaliser les franchissements par rapport au débit de circulation. Il s'agit également de comprendre le franchissement comme le produit de choix individuels. L'étude montre qu'il existe des conditions particulières de réalisation des infractions au feu rouge. Plus particulièrement, pour des débits inférieurs à 200 véhicules par heure, les taux de franchissement sont très importants. Des conditions de circulation caractérisées par de faibles débits constitueraient donc des opportunités pour certains conducteurs de franchir l'intersection tout en prenant des risques mesurés. Au-delà de 800 véhicules, la diminution du taux de franchissement s'explique en large partie par un phénomène de saturation. Pour ces situations, les violations du Code de la route sont bien réelles, mais les conséquences en termes d'accident s'avèrent sans doute plus maîtrisées. Dans ces cas, l'aménagement des intersections et le réglage des feux semblent constituer des solutions alternatives à étudier.

Il reste une autre catégorie d'usager dont le franchissement est réalisé dans des conditions de trafic ne relevant ni de la congestion, ni par de très faibles débits. Cette catégorie représente la grande majorité des franchissements constatés (67 % des franchissements constatés pour des débits supérieurs à 200 et inférieurs à 800 véhicules par heure et par voie) sur laquelle les autorités doivent trouver des interventions adaptées. Sans doute ces franchissements, pour des trafics compris entre 400 et 800 véhicules par heure, résultent-ils de rouge forcé du fait de la congestion ou encore de rouge de dégagement. Les enjeux en termes d'accidents y sont sans doute plus importants notamment concernant les piétons. Il convient sur ce dernier point d'aller plus en avant dans l'analyse en s'intéressant à l'accidentalité.

Cette étude insiste sur l'importance des caractéristiques des carrefours à feux. Il conviendrait ainsi de poursuivre l'étude sur ce point afin de pouvoir éventuellement identifier les caractéristiques pertinentes, environnementales et techniques (présence d'une école, aménagement de l'intersection...) et de quantifier leur impact sur les comportements de franchissement. L'usager intègre-t-il ces dimensions lorsqu'il décide de franchir un feu au rouge, et si tel est le cas, dans quelle mesure ?

Le raisonnement en termes de choix suggère également la nécessité de mener de nouvelles investigations pour ce qui concerne la typification des infractions (selon la durée de rouge, le type de véhicules et les vitesses de franchissement). De toute évidence, il existe une dimension comportementale assez mal connue en ce qui concerne les franchissements avec l'existence possible de stratégies différenciées de la part des conducteurs appelant de la part des autorités une palette d'interventions adaptées.

Bibliographie

Carnis Laurent (2010), Impact contrôle automatisé feux rouges : Éléments de réflexion critiques autour d'une revue de littérature, *Rapport CETE*, mars, 52 pages.

Gregoire Daniel (2010), CAFR – Sites de Nantes – Comptages de franchissements de feu rouge en 2009, *Rapport CETE*, février, 34 pages.

Grégoire Daniel (2009), Compteur Cigale FFR – Notice technique, *Rapport CETE*, avril, 16 pages.

Dik Radoine (2009), Analyse de données relatives aux franchissements de feux rouges pour la sécurité de tous les usagers, *Rapport CETE*, Février; 16 pages.

Olivero Patrick et Sauvagnac Pascal (2001), Détection des franchissements de rouge sur 13 entrées de 5 carrefours de la ZELT, *Rapport ZELT*, Juin, 68 pages.

Fournier, JN. (2009), *Protection des passages piétons : « Mise en place des nouveaux dispositifs feux rouges »* - Communiqué de presse du cabinet du Ministre d'Etat, Jean-Louis Borloo, du 2 juillet 2009.

Venables W.N. et Smith D.M. (2001), *An introduction to R*, Network theory Bristol, UK, 100 pages.

Annexe A: Grille analyse de site des carrefours à feux suivis sur Nantes Métropole

Points traités dans les grilles

1/ Repérage et descriptif du carrefour (cf rapport État 0 Certu)

- Identifier les branches des carrefours.
- Photo aérienne du carrefour ou plan du carrefour indiquant clairement la dénomination des branches d'entrée et le sens contrôlé.
- Photo des branches suivies.

2/ Analyse contextuelle du carrefour :

Caractère dangereux du carrefour (comportements atypiques, vitesse d'approche excessive ou modération des vitesses, contexte de la circulation générale (dense ou fluide), feux à proximité de passage à niveau, Largeur des branches, ligne droite, etc.);

s'assurer de l'absence de défauts majeurs d'aménagement constatés sur l'**espace public à proximité du carrefour** (géométrie, masque de visibilité, publicité, sécurité des carrefours...).

Contexte du carrefour (trafic piéton, école, arbres, commerces, bandes ou pistes cyclables et sas vélo, éclairage, voie bus, centre urbain, ...).

3/ conformité :

Conformité du carrefour à la réglementation sur les points suivants (signalisation lumineuse (feux, état, hauteur...), signalisation verticale, signalisation horizontale (marquages au sol de la ligne d'effet des feux-LEF-, passages piétons, sas vélos, accessibilité de la voirie aux personnes handicapées).

Annexe B : Résultats de l'estimation d'un modèle de Poisson sur les nombres horaires de franchissements

Variable	Coefficient	Déviations Standard	p.value
Constante	-0,916	0,040	< 2 E-16
Débit/voie	0,021	0,000	< 2 E-16
Débit/voie^2	-7,50E-5	1,84E-6	< 2 E-16
Débit/voie^3	1,14E-7	3,32E-9	< 2 E-16
Débit/voie^4	-5,98E-11	2,00E-12	< 2 E-16
jeudi	0,089	0,017	2,99E-7
lundi	0,068	0,018	1,28E-4
mardi	0,098	0,018	2,33E-8
mercredi	0,147	0,017	< 2 E-16
samedi	0,025	0,018	1,65E-1
vendredi	0,024	0,018	1,74E-1
Matin	0,124	0,023	1,00E-7
Après Midi	0,054	0,024	2,55E-2
Soir	0,116	0,023	7,14E-7
Poste 12	0,965	0,038	< 2 E-16
Poste 13	1,758	0,034	< 2 E-16
Poste 133	0,829	0,035	< 2 E-16
Poste 137	-0,567	0,042	< 2 E-16
Poste 149	0,990	0,039	< 2 E-16
Poste 1520	0,091	0,041	2,67E-2
Poste 15s1	0,717	0,036	< 2 E-16
Poste 15s2	0,296	0,038	5,54E-15
Poste 15s3	0,757	0,039	< 2 E-16
Poste 167	-1,023	0,055	< 2 E-16
Poste 169	-2,154	0,091	< 2 E-16
Poste 183	0,583	0,035	< 2 E-16
Poste 199s3	0,274	0,039	1,37E-12
Poste 199s1	-0,056	0,038	1,45E-1
Poste 199s2	-0,179	0,040	9,11E-6
Poste 20	0,438	0,035	< 2 E-16
Poste 245	0,416	0,042	< 2 E-16
Poste 26	0,423	0,040	< 2 E-16
Poste 31	0,491	0,035	< 2 E-16
Poste 311	0,039	0,045	3,81E-1
Poste 3111	0,280	0,036	1,06E-14
Poste 328	-0,004	0,040	9,26E-1
Poste 347	0,411	0,038	< 2 E-16
Poste 385	-0,007	0,043	8,66E-1
Poste 76	-0,357	0,044	6,60E-16

Remarque : La « p-value » indique la probabilité pour qu'un coefficient soit significativement différent de 0. Il est d'usage de prendre en considération l'effet des variables pour lesquelles cette valeur est inférieure à 0,1.

Annexe C : Résultats de l'estimation du modèle linéaire sur le résultat de l'application de la transformation logistique aux taux de franchissement horaires

Variable	Coefficient	Déviations Standard	p.value
Constante	-3,075	0,072	< 2 E-16
Débit/voie	-0,008	4,07E-04	< 2 E-16
Débit/voie^2	1,58E-05	1,05E-06	< 2 E-16
Débit/voie^3	-8,99E-09	8,14E-10	< 2 E-16
jeudi	0,188	0,030	2,88E-10
lundi	0,128	0,030	1,98E-05
mardi	0,149	0,030	7,30E-07
mercredi	0,185	0,030	6,50E-10
samedi	0,046	0,030	0,129
vendredi	0,087	0,030	0,003
Matin	-0,178	0,047	1,57E-04
Après Midi	-0,181	0,047	1,38E-04
Soir	-0,129	0,047	0,006
Poste 12	-0,179	0,062	0,004
Poste 13	0,867	0,063	< 2 E-16
Poste 133	-0,093	0,055	0,092
Poste 137	-0,453	0,060	3,94E-14
Poste 149	0,873	0,083	< 2 E-16
Poste 1520	0,053	0,064	0,413
Poste 15s1	-0,234	0,058	4,88E-05
Poste 15s2	-0,453	0,058	8,21E-15
Poste 15s3	0,550	0,073	5,98E-14
Poste 167	-1,308	0,064	< 2 E-16
Poste 169	-1,153	0,086	< 2 E-16
Poste 183	0,335	0,059	1,56E-08
Poste 199s3	0,269	0,062	1,72E-05
Poste 199s1	-0,003	0,059	0,954
Poste 199s2	-0,073	0,063	0,245
Poste 20	0,237	0,058	3,96E-05
Poste 245	-0,317	0,069	4,24E-06
Poste 26	-0,184	0,062	2,90E-03
Poste 31	-0,248	0,054	3,90E-06
Poste 311	-0,527	0,064	< 2 E-16
Poste 3111	-0,487	0,054	< 2 E-16
Poste 328	0,009	0,062	0,881
Poste 347	0,207	0,064	0,001
Poste 385	-0,497	0,063	5,02E-15
Poste 76	-0,284	0,064	8,43E-06

Remarque : La « p-value » indique la probabilité pour qu'un coefficient soit significativement différent de 0. Il est d'usage de prendre en considération l'effet des variables pour lesquelles cette valeur est inférieure à 0,1.

Ressources, territoires, habitats et logement
Énergie et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent
pour
l'avenir**

Centre d'Études Techniques de l'Équipement de l'Ouest
MAN – rue René Viviani
BP 46223
44262 NANTES cedex 2
Tél. : 02 40 12 83 01
Fax : 02 40 12 84 44
CETE-Ouest@developpement-durable.gouv.fr

www.cete-ouest.developpement-durable.gouv.fr