

Rapport d'étude

**Impact du cycle de feux sur la
capacité, l'acceptabilité de
l'attente aux feux et la sécurité**

rapport d'étape phase 1

Décembre 2014

Impact du cycle de feux sur la capacité, l'acceptabilité de l'attente aux feux et la sécurité

date : décembre 2014

auteur : Direction Territoriale Méditerranée

responsable de l'étude : Valérie Battaglia, Yannis Lagarde

résumé de l'étude :

Les carrefours à feux ont une gestion de plus en plus complexe qui pousse les gestionnaires à augmenter la durée de cycle. La conception des carrefours à feux repose aujourd'hui sur des méthodes de calculs simples. Plus généralement, le guide de conception des carrefours à feux est basé sur une approche capacitaire de la gestion des flux routiers. La volonté de favoriser des modes de transports alternatifs à la voiture particulière interroge sur les temps accordés à chacun des modes et en particulier pour le piéton.

L'étude a pour but d'étudier la question de la durée des cycles de feux selon une triple approche capacité-acceptabilité-sécurité.

La démarche de l'étude a consisté en premier lieu à réaliser une analyse bibliographique sur les méthodes de conception des carrefours à feux, les temps d'attente et leur perception par les différents modes.

Les enseignements tirés sont:

- le débit de saturation (débit maximal de véhicules admis par une voie de circulation) dépend de l'environnement du carrefour et évolue pendant la durée du vert
- les cycles longs avec des temps d'attente longs peuvent induire des comportements à risques
- les phases de vert courtes peuvent également engendrer des franchissements de feux

Dans un deuxième temps, le questionnement s'est porté plus spécifiquement sur les hypothèses de conception des carrefours à feux.

L'analyse de données existantes et des expérimentations sur des carrefours semblent indiquer que les valeurs mentionnées dans le guide de conception des carrefours à feux sont optimistes en terme capacitaire et méritent d'être adaptées au cas par cas.

Ces premiers éléments vont permettre de définir les approfondissements à faire dans la deuxième phase de l'étude. Les gestionnaires de feux seront interrogés sur leur pratiques et leur retour d'expériences. Des expérimentations qualitatives seront menées sur les comportements des usagers des différents modes pour connaître l'influence du temps d'attente sur l'acceptabilité et la prise de risques aux feux.

zone géographique : France entière

nombre de pages : 77

n° d'affaire : 13A000161

maître d'ouvrage : DSCR AI4

SOMMAIRE

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	5
1.1 Contexte.....	5
1.2 Objectifs de l'étude et déroulement	5
2 SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	8
2.1 Cadre réglementaire sur les durées dans un cycle de feux	9
2.1.1 Instruction Interministérielle de la Signalisation Routière, 6ème partie feux de circulation permanents.....	9
2.2.2 Réglementation allemande.....	10
2.2 Premiers éléments de réponses sur la problématique	11
2.2.1 Modélisation de l'écoulement du trafic au niveau d'une ligne de feux et questionnement.....	11
2.2.2 Acceptabilité des plans de feux par les usagers.....	20
2.2.3 Le déplacement des piétons.....	22
2.2.4 Le déplacement des cyclistes.....	23
2.2.5 Le déplacement des automobilistes	24
2.3 Synthèse de la recherche bibliographique.....	28
3 HYPOTHÈSES DE CONCEPTION DES CARREFOURS À FEUX.....	30
3.1 Pratiques des gestionnaires de voirie.....	30
3.1.1 Mode de gestion des feux et valeur du débit de saturation utilisée par les gestionnaires de feux des agglomérations avec transport collectif en site propre.....	30
3.1.1.1 Stratégie de gestion des carrefours à feux et de la durée du cycle.....	30
3.1.1.2 Valeur du débit de saturation utilisée par l'agglomération.....	31
3.1.2 Enseignements tirés.....	32
3.1.2.1 Enjeux liés à la conception des carrefours à feux	32
3.1.2.2 Enjeux liés à la politique de gestion des feux et la priorisation des modes.....	32
3.2 Recherche de données de comptage existantes pour la détermination du débit de saturation	33
3.2.1 Recueil de données.....	33
3.2.2 Exploitation des données de comptages fournies par la ville de Paris.....	34
3.2.2.1 Débit sur une voie sans feu.....	34
3.2.2.2 Analyse des comptages sur les grands boulevards.....	34
3.2.2.3 Conclusion.....	35
3.3 Premières expérimentations sur la vérification des valeurs utilisées pour la conception des carrefours à feux	35
3.3.1 Objectifs	35
3.3.1.1 Expérimentation de la méthodologie.....	35
3.3.1.2 Mesure du débit de saturation et vérification des coefficients utilisés dans le guide.	35
3.3.2 Enseignements sur la méthodologie.....	36
3.3.2.1 Comptages par enregistrements vidéos	36
3.3.2.2 Méthode par comptage manuel.....	37
3.3.2.3 Enseignements tirés.....	39

3.3.3 Mesures « in situ ».....	39
3.3.3.1 Mesure du débit de saturation moyen	39
3.3.3.2 Influence de la durée du vert sur le débit de saturation	45
3.3.3.3 Influence des poids lourds sur le débit de saturation.....	47
3.3.3.4 Mouvements tournants	48
4 CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	50
4.1 Conception des carrefours	50
4.2 Stratégie de gestion des feux.....	51
4.3 Acceptabilité et sécurité.....	51
BIBLIOGRAPHIE	52
TABLES DES ANNEXES.....	54

1 Contexte et objectifs de l'étude

1.1 Contexte

Les carrefours à feux ont une gestion de plus en plus complexe (réduction du nombre de voies dévolues à la circulation générale mais concentration des trafics sur celles restantes, insertion de phase spécifique TC sur appel) qui pousse les gestionnaires à augmenter les durées de cycle. C'est mathématiquement le seul moyen d'augmenter la capacité. Toutefois cette solution se trouve confrontée à la limite réglementaire des 120 secondes.

De plus, la recherche d'une efficacité dans l'exploitation des réseaux de voirie passe par une très bonne connaissance du fonctionnement des carrefours à feux (optimisation des temps accordés à chaque usager). En effet, les temps de parcours en zone urbaine dépendent essentiellement du temps perdu aux carrefours et non de la vitesse pratiquée sur les voies de circulation.

Cependant, la conception des carrefours à feux repose aujourd'hui sur des méthodes de calculs simples, mais avec des variables d'ajustement assez élastiques (le débit de saturation par exemple). De plus, on constate sur certains carrefours que les calculs montrent leurs limites. Le guide de conception des carrefours présente une méthode simplifiée qui apporte des préconisations en terme de géométrie et traite sommairement les aspects trafic. Le concepteur du projet doit adapter les valeurs mentionnées dans le guide en fonction du carrefour.

Le rôle du carrefour est la gestion temporelle des flux ; il a pour but de dissocier dans le temps l'admission de tous les modes. Il doit permettre d'écouler les différents modes dans des conditions optimales de sécurité.

Le guide de conception des carrefours à feux repose sur une approche capacitaire de la gestion des flux routiers. Le carrefour permet-il d'absorber la demande en trafic? Aujourd'hui, d'autres impératifs peuvent remettre en question ce postulat.

Le développement des modes de transports alternatifs à la voiture particulière : transports en commun, marche, vélo et la protection des modes doux vis-à-vis de l'automobile interrogent sur les temps accordés à chacun des modes et en particulier pour le piéton. Le comportement spécifique des différents usagers face à des temps d'attente longs et des phases de vert courtes pose des questions en terme d'acceptabilité et peut engendrer potentiellement des comportements à risques et des accidents.

Dans ce contexte, il est opportun d'étudier la question de la durée des cycles des carrefours à feux selon une triple approche capacité - acceptabilité - sécurité.

1.2 Objectifs de l'étude et déroulement

L'ensemble de l'étude a plusieurs objectifs :

1/ vérifier les hypothèses de calcul du guide de conception des carrefours à feux.

Formule de base

L'offre de capacité Q_t du carrefour est définie par la formule suivante:

$$Q_t = q_s \cdot (C_y - T_n) / C_y$$

q_s : débit de saturation

C_y = durée du cycle

T_n : temps neutralisé

La capacité d'une ligne de feu est

$$C_a = q_s \cdot V / C_y \quad \text{ou } V \text{ est le temps de vert de la ligne de feu}$$

La valeur de référence du débit de saturation de 1800 veh/h, c'est à dire le débit maximal de véhicules admis par heure à une ligne de feux, sur laquelle repose la conception, est-elle réaliste ?

Il est également indiqué dans le guide que des valeurs supérieures ou inférieures pourront être retenues en fonction du contexte. Quels sont les paramètres à prendre en compte et quelles valeurs sont adaptées dans le contexte du projet?

Les coefficients utilisés dans la méthode pour tenir compte de la dynamique des différents véhicules (2 roues motorisés, poids lourds, véhicules légers) et les mouvements de giration sont-ils réalistes ?

L'augmentation capacitaire par allongement du cycle est due à la diminution de la part des temps neutralisés par rapport aux durées de vert.

Pour des temps de vert long, le calcul capacitaire est fait sur l'hypothèse d'un débit de saturation constant au cours du temps ? Est-ce réellement le cas? Des durées de vert longues augmentent-elles réellement la capacité du carrefour ?

2/ connaître l'état des pratiques en France, en terme de respect de la règle des 120 secondes. Analyser les différentes politiques de priorité aux feux pour les véhicules de transports collectifs, et évaluer leur impact sur la sécurité de tous les usagers.

3/ connaître l'acceptabilité pour des temps d'attente longs pour les usagers et pour des feux au fonctionnement acycliques et l'impact de ces fonctionnements atypiques sur la sécurité.

Le présent rapport traite les objectifs 1 et 3. Il a été rédigé par la DTer Méditerranée (Valerie Battaglia et Yannis Lagarde).

L'objectif 2 fait l'objet d'un rapport spécifique de la DTer Est (Nicolas Speisser).

L'ensemble a fait l'objet d'un suivi de la DTec Territoires et Villes (Christophe Damas).

Dans le présent rapport, la démarche a consisté en premier lieu à réaliser une analyse bibliographique (française et étrangère) sur les méthodes de calcul et de conception des carrefours à feux, les temps d'attente, leur perception.

Ensuite, le questionnement s'est porté plus spécifiquement sur les hypothèses de conception des carrefours à feux.

Dans un premier temps, les gestionnaires de voirie de villes avec tramways ont été interrogés pour connaître le mode de gestion des carrefours à feux et les valeurs du débit de saturation qu'ils utilisent et comment ils choisissent ces valeurs.

Dans un deuxième temps, il a été effectué un recueil et une exploitation des données existantes pour le débit de saturation, valeur fondamentale de la méthode de conception des carrefours à feux.

Dans un dernier temps, suite à la difficulté d'obtenir des données exploitables, il a été réalisé une phase d'expérimentations.

Des premières conclusions peuvent être tirées de cette démarche et ouvrent des perspectives pour des approfondissements à réaliser en 2015.

2 Synthèse bibliographique

Acceptabilité de l'attente aux feux, impact du cycle sur la capacité, la sécurité

La synthèse bibliographique est organisée, après un rappel réglementaire, selon les réponses aux problématiques qui ont été identifiées dans un premier travail de cadrage de l'étude :

- (Q1) Le temps perdu au démarrage est-il indépendant du réglage des feux ?
- (Q2) Le débit de saturation est-il indépendant du réglage des feux ?
- (Q3) La diminution de rendement des verts longs est-elle réellement observée ?
- (Q4) La formule de calcul de la capacité est-elle trop simple, ou son domaine doit-il être mieux précisé ?
- (Q5) Peut-on regarder de plus près la question de la distribution de nombre de TAG par cycle, ainsi que les risques d'auto-blocage ?
- (Q6) Peut-on explorer le problème du stockage aux feux, explorer notamment la distribution des variations des files d'attente surtout lorsqu'on est dans un réseau régulé ?
- (Q7) Peut-t-on définir une méthode « simple » pour calculer les temps d'attentes, les longueurs des files d'attentes, le nombre d'arrêts aux feux pour les carrefours à phase spéciale VTC sur appel.
- (Q8) Comment est perçu le vert mini par les usagers ?
- (Q9) Fréquence du problème de dépassement des 120 secondes en France ? Quelles sont les villes à tramway où il n'y a pas de problème de dépassement des 120 secondes, comment font les maîtres d'ouvrage ?
- (Q10) Comment sont perçus les temps d'attente par les usagers et notamment les piétons ? Il y a-t-il des modèles ? L'approche temps maximum est-elle pertinente ?
- (Q11) Les temps d'attente trop longs peuvent-ils être perçus comme des pannes, que dit la jurisprudence à ce propos ?
- (Q12) Un fonctionnement acyclique des feux modifie-t-il la perception de l'attente aux feux ?
- (Q13) Quelle est l'influence de la durée de vert sur la vitesse des véhicules et les franchissements de rouge ?
- (Q14) Quelle est l'influence de la durée de rouge sur les franchissements de rouge et notamment l'anticipation du vert ?
- (Q15) Quelle est l'influence de fonctionnement acyclique sur les vitesses et les franchissements de rouge ?

2.1 Cadre réglementaire sur les durées dans un cycle de feux

2.1.1 Instruction Interministérielle de la Signalisation Routière, 6ème partie feux de circulation permanents

C. - Règles générales de fonctionnement des signaux lumineux d'intersection

(Modifié par arrêté du 12 janvier 2012, annexe 2)

1) Déroulement des couleurs ou des signes spécifiques aux signaux pour véhicules des services réguliers de transport en commun

Chaque signal d'intersection déroule cycliquement ses différents états d'allumage dans un ordre immuable et avec les contraintes suivantes :

Signaux tricolores (R11, R13 et R14)

- le déroulement des couleurs est le suivant : vert - jaune fixe - rouge - vert ; exceptionnellement pour les signaux R11j, R13cj et R13bj il peut être : jaune clignotant sur le feu du bas - jaune fixe - rouge - jaune clignotant sur le feu du bas ;
- la durée minimale du vert (ou du jaune clignotant) est de six secondes ;
- la période jaune fixe dure obligatoirement soit trois secondes soit cinq secondes ;
- la durée de trois secondes est la règle générale en agglomération ;
- la durée de cinq secondes est obligatoire aux intersections hors agglomération, ainsi que pour tout signal tricolore fonctionnant au jaune clignotant sur le feu du bas (R11j, R13cj et R13bj).

Signal piéton R12

- le déroulement normal des couleurs est le suivant : vert fixe - rouge - vert fixe ;
 - la durée minimale de vert est de six secondes.
- [...]

Signaux pour véhicules des services réguliers de transport en commun R17 et R18

- le déroulement des différents états d'allumage des feux est le suivant : barre verticale (signal R17) ou oblique (signal R18), disque, barre horizontale ; barre verticale ou oblique ;
- la durée d'allumage du disque est adaptée aux caractéristiques de freinage des véhicules de transport en commun ; elle est identique sur un même système de transport ; elle est de 3 secondes au minimum et de 8 secondes au maximum ; l'allumage de ce disque peut être escamoté à la double condition :
 - que les fonctionnements des signaux R17 et R18 soient dissociés selon les sens de circulation des véhicules des services réguliers de transport en commun ;
 - qu'un seul véhicule à la fois ne soit admis pour chaque sens de circulation.

2) Calcul des durées de rouge de dégagement

Le rouge de dégagement permet à un véhicule engagé à la dernière seconde de jaune fixe, ou à un piéton engagé à la dernière seconde de vert, d'avoir dégagé la zone des conflits en temps utile. Les vitesses généralement admises pour le calcul de ces durées sont de dix mètres par seconde pour les véhicules à moteur et de un mètre par seconde pour les piétons. Des circonstances particulières peuvent conduire à retenir des valeurs inférieures (forte proportion de poids lourds ou de cycles, rampe, sortie d'hospice, etc.).

Pour les véhicules des services réguliers de transport en commun gérés au moyen de signaux R17 et R18, des détections peuvent permettre de s'assurer qu'ils ont dégagé la zone de conflits et d'engager la phase suivante.

La durée minimale des jaunes, des verts, des rouges de dégagements est réglementée; la durée des différentes phases d'un cycle de feux est donc soumise à des contraintes. Ces durées minimales sont fonctions des usagers qui sont concernés par les signaux: véhicules, piétons, services réguliers de transports en commun.

3) Adaptation des durées à la demande

Les durées des feux d'intersection varient en fonction de la demande des véhicules et des piétons, dans les limites fixées en 1 et 2 ci-dessus.

Le temps d'attente imposé à un usager ne doit jamais excéder cent vingt secondes en fonctionnement normal.

Toutefois, dans certaines circonstances exceptionnelles d'actions prioritaires (proximité d'un passage à niveau, d'un pont mobile, etc.), la nécessité de faire dégager d'urgence certains véhicules peut conduire à déroger aux contraintes de durée précédentes.

2.2.2 Réglementation allemande

En Allemagne, d'après le RILSA (Richtlinie für die Anlage von Lichtsignalanlagen), les recommandations sont les suivantes ;

- Temps minimal de vert : la durée de vert doit être au minimum de 5 secondes. Cette durée de 5 secondes doit être exceptionnelle, les guides allemands recommandent une durée minimale de 10 secondes, et même de 15 secondes pour les routes à fort trafic.
- Temps maximal de rouge : il est recommandé que les temps de rouge soient limités à 60 secondes pour les piétons et les cyclistes, et à 120 secondes pour les autres véhicules.

2.2 Premiers éléments de réponses sur la problématique

Les questions et les remarques formulées dans le travail initial de cadrage sont en bleu. En noir, ce sont les éléments trouvés dans la littérature confirmant ou interrogeant ces questions et ces remarques.

2.2.1 Modélisation de l'écoulement du trafic au niveau d'une ligne de feux et questionnement

Remarque 1: on peut négliger les véhicules qui passent au rouge: les nombreuses données sur les franchissements de rouge montrent qu'environ 1 à 2% des véhicules passent au rouge et qu'environ 1 cycle sur 10 comprend un franchissement au rouge.

Éléments confirmés par les références suivantes :

Etude ZELT 2001 : principaux résultats

Taux de franchissement : nombre de franchissements au rouge par heure par le débit horaire mesuré au feu

Taux de franchissement au rouge: 2,9%

Les cycles utilisés de manière illicite (comportant au moins un franchissement de rouge) constituent 10% du total des cycles.

Analyse des franchissements de feux rouges sur l'agglomération nantaise

Taux de franchissement moyen 1,56%

Making intersections safer, USA, 2003

L'étude du nombre de franchissements de rouge sur 12 carrefours en Iowa a montré un taux de franchissements moyen, par rapport au trafic total entrant, de 0,22 %, avec des valeurs comprises entre 0,6 % et 0,05 %. Ces valeurs sont bien inférieures aux valeurs françaises citées plus haut. Cependant, le trafic supporté par ces carrefours n'est pas précisé. De plus, le calcul des rouges de dégagement et des jaunes n'est pas le même aux Etats Unis. Les résultats sont donc difficilement transposables au cas français.

Question 1: Le temps perdu au démarrage est-il indépendant du réglage des feux (sous entendu de la durée du feu vert pour les véhicules motorisés)?

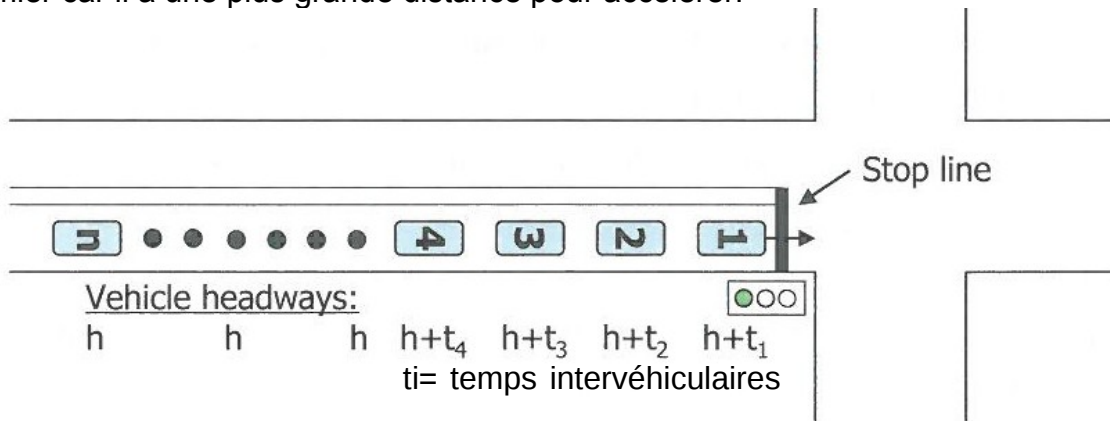
- Highway Capacity Manual 2010. (HCM)

Remarque : Ce guide est une méthode pour concevoir les infrastructures routières. Le manuel développe une approche multimodale. Différents concepts sont présentés pour caractériser le fonctionnement de l'infrastructure et le comportement des usagers. La méthodologie est basée sur une approche par niveaux de service offerts à l'utilisateur et pas uniquement sur un aspect capacitaire.

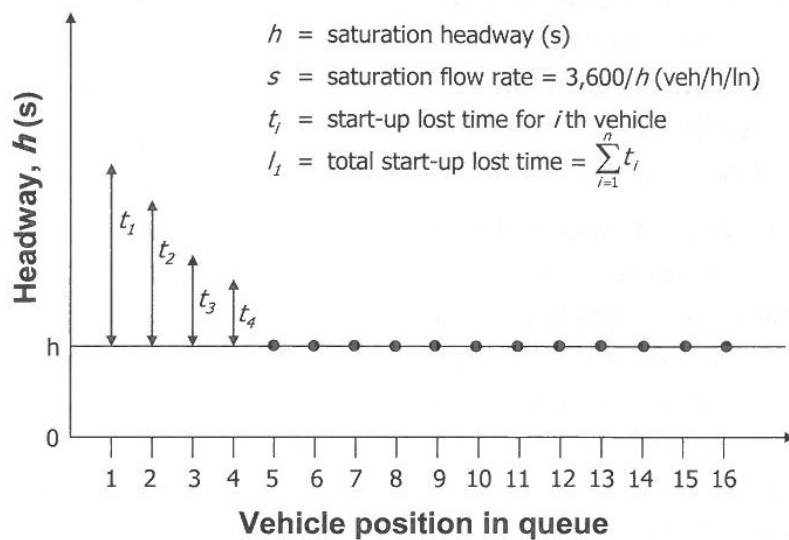
Ci-dessous est présentée l'analyse de ce guide sur ce point.

Quand le feu passe au vert, il y a une dynamique de démarrage des véhicules. Le premier

véhicule a un temps de réaction pour détecter le changement de feu puis d'accélération pour passer la ligne de feu. Le deuxième véhicule passe la ligne de feu plus vite que le premier car il a une plus grande distance pour accélérer.



Le temps pour passer la ligne de feu est constant au bout du 4e véhicule donc le débit est réellement constant au bout du 5e véhicule.



Il n'y a pas d'élément concernant un temps de réaction plus élevé ou plus faible en fonction de la durée du feu.

• L'article de R. Stokes fait état de plusieurs travaux affirmant que le temps de passage au feu est constant au bout du 5ième véhicule. Les valeurs mentionnées de temps de passage des 5 premiers véhicules diffèrent selon les études:

	Temps de passage 1er véhicule (s)	2e véhicule	3e véhicule	4e véhicule	5e véhicule
1ere étude	3,8	3,1	2,7	2,2	2,1
2ème étude	2,6	2,5	2,5	2,3	2,3

Question 2: Le débit de saturation est-il indépendant du réglage des feux?

Le débit de saturation ne peut être considéré comme indépendant du réglage du feu à cause de la dynamique de démarrage. La note de cadrage indique qu'il faut en moyenne 15 s pour écouler les 5 premiers véhicules puis au bout du 5^{ème} véhicule le débit de saturation est constant. La littérature (voir ci-dessus) donne d'autres valeurs.

- Le temps perdu au démarrage est comptabilisé dans la méthode HCM au même titre que les temps de dégagement. Dans un exemple du HCM, ce temps perdu est estimé à 2s.

- L'étude des conditions de circulation de l'accès à Monaco a mesuré sur un carrefour spécifique un débit de 10,7 UVP dans les 20 premières secondes de vert, soit une valeur plus importante que les 5 UVP en 15s du HCM. Ce point devra être étudié précisément.

- Facteurs d'ajustement du débit du guide canadien

Plusieurs facteurs d'ajustement du débit sont évoqués : facteurs géométriques (largeur de voie, pente, rayon, file d'attente), facteurs liés aux conditions de trafic (arrêt de bus, fort flux piétons), facteurs liés au phasage (durée du vert, combinaison de phasage). Un des facteurs proposés paraît intéressant, c'est un facteur d'ajustement du débit en fonction de la durée du vert.

$v < 20s$ alors $f = 0,833 + v/120$

$20s < v < 50s$ alors $f = 1$

$50s < v < 60s$ alors $f = 1,5 - v/100$

$60s < v$ alors $f = 0,9$

Enquêtes et mesures sur place issu du guide canadien

Plusieurs enquêtes sur le terrain pour effectuer des mesures du débit de saturation notamment ont été réalisées. Les résultats montrent que lors des 5 premières secondes, le débit est faible puis atteint 1200 uvp/h puis environ 1800 uvp/h à partir de 20 s puis chute à nouveau à partir de 35s plutôt autour de 1700 uvp/h.

Question 3: La diminution de rendement des verts longs est-elle réellement observée?

Il faut différencier l'évolution du débit de saturation en fonction de la durée du vert et le fonctionnement d'un carrefour dans le cas de cycles longs (problématique du stockage des véhicules en mouvement de tourne-à-gauche).

Evolution du débit de saturation en fonction de la durée du vert

- Etude sur l'amélioration des conditions de circulations dans le secteur du tunnel de l'A500 en direction de la principauté de Monaco :

Première analyse

« La capacité d'écoulement théorique est classiquement fixée à 1 800 UVP/h en moyenne soit un véhicule toutes les 2 secondes. Il est ainsi intéressant de constater que les débits sont dans ce cas nettement plus **faibles** : environ 1 650 UVP/h pour le carrefour de la Turbie et seulement 1 450 UVP/h pour le carrefour de Cap d'Ail. Ces valeurs peuvent s'expliquer à la fois par le comportement plutôt « calme » des automobilistes (par comparaison avec ce qui peut être observé en milieu urbain dense notamment), et à la fois par une congestion qui n'est pas totale (les temps de vert sur l'axe permettent au trafic

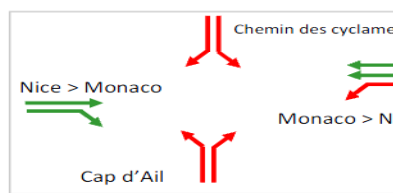
d'avancer lentement (10 à 20 km/h) l'essentiel du temps) qui n'est finalement pas propice à des comportements « nerveux » ou « très réactifs », caractérisés par des distances inter-véhiculaires faibles, et par des accélérations et freinages vifs, voire des franchissements de lignes de feu au jaune voire au rouge. »

L'étude propose une explication comportementale à la différence de débit de saturation entre la théorie et la réalité.

Attention il s'agit de suppositions sans fondement scientifique, elles doivent questionner sans être prises comme éléments de réponse.

Comptages

Des comptages ont été faits pour évaluer la capacité horaire en fonction de la durée du cycle du carrefour de Cap d'Ail ne comportant pas de tourne à gauche pendant la phase.



PHASE 1 : 73s

Comptages complémentaires (CG06)

- Principe : Comptages sur Web Cam CG du trafic par 20s de vert et sur 12 cycles de feux le jeudi 1^{er} août 2013
- Résultats : Vert optimal sur la RM6007 vers Monaco à l'HPM autour de 60s

Temps de vert	UVP / 20s	Capacité horaire
1-20s	10.7 =	1928 UVP/h
21-40s	10.4 =	1868 UVP/h
41-60s	10.1 =	1823 UVP/h
61-80s	8.3 ↓	1493 UVP/h
81-99s	7.1 ↓	1271 UVP/h
1-99s	9.4	1689 UVP/h

• L'article *Revisiting the Cycle Length - Lost Time Question With Critical Lane Analysis*, Purdue University, USA, 2012, étudie la capacité d'un carrefour saturé, en faisant varier le cycle de 80 à 135 secondes. Les chercheurs ont relevé le trafic traversant le carrefour entre 16h30 et 17h30, pendant 10 semaines. Si l'on se réfère aux formules ci-dessus, l'offre de capacité du carrefour devrait être proportionnellement augmentée lorsque la longueur du cycle augmente. Or les chercheurs ont observé que l'offre de capacité du carrefour est restée quasi-identique, avec une valeur par voie autour de 1400 véh/h/voie, quelle que soit la longueur du cycle. L'offre de capacité a même légèrement diminué avec le cycle de 135 secondes.

L'augmentation attendue n'a pas été vérifiée, car le débit de saturation a diminué avec l'allongement du cycle et l'allongement des temps de vert. Le débit de saturation est donc bien dépendant du temps de vert.

L'influence du temps de vert sur le débit de saturation est évoquée dans plusieurs autres articles :

Detailed Observations of Saturation Headways and Start-Up Lost Times, Li, Prevedourous, 2002

Saturation Flow at Signalized Intersections During Longer Green Time, Khosla, Williams, 2006

Long Green Times and Cycles at Congested Traffic Signals, Denney, Curtis, Head, 2009

- L'article de P. Tseng et F. Lin indique que le débit de saturation n'est pas constant au cours de la phase de vert. On ne peut donc pas appliquer le débit de saturation sur la totalité du temps de vert. La démarche HCM tend à prendre en compte ce phénomène par l'introduction de temps perdu mais l'estimation de ce temps n'est pas fiable.

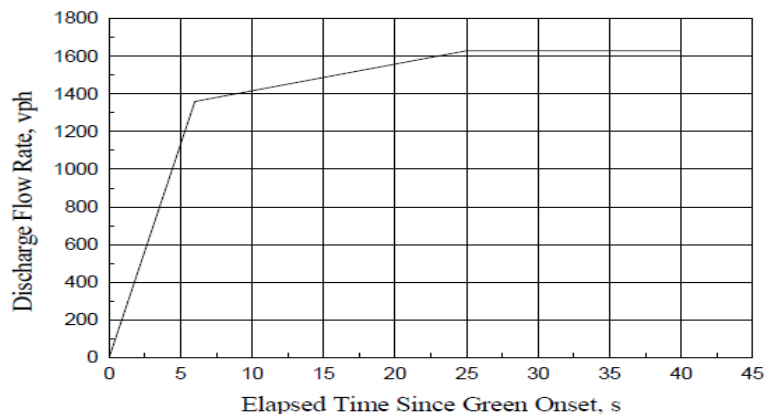


Figure 5. Smoothed Relationship Between Straight-Through Queue Discharge Rate and Green Duration in Poland

Question 4: La formule de la capacité est-elle trop simple ou son domaine doit-il être mieux précisé?

La formule de la capacité ne tient pas compte de la dynamique de démarrage.
La formule ne concerne qu'une seule catégorie d'usagers : les véhicules motorisés.

- Le HCM développe une approche où le débit de saturation est ajusté par des facteurs correctifs en fonction de la largeur de la voie, la présence de véhicules lourds, l'existence de parking le long de la voie, la présence d'arrêt de bus, les mouvements de tourne à gauche ou à droite permis pendant la phase,... Il est à noter qu'il existe une méthode française qui avait ce type de démarche, prenant en compte de nombreux facteurs, mais qui n'est plus utilisée à ce jour. Une méthode anglaise existe également.

- Le guide canadien évalue que le débit de saturation diminue de 10 à 15% en présence d'une traversée de tramway car la plate-forme dégrade le roulement sur la chaussée.

- La récente étude sur le carrefour de Mallemoisson a également fait ressortir que l'existence d'éléments parasites (stationnements, arrêts TC, commerces, tag,...) a proximité du carrefour peut avoir un impact fort sur le débit écoulé. Ce sujet mériterait une approche spécifique dans l'étude.

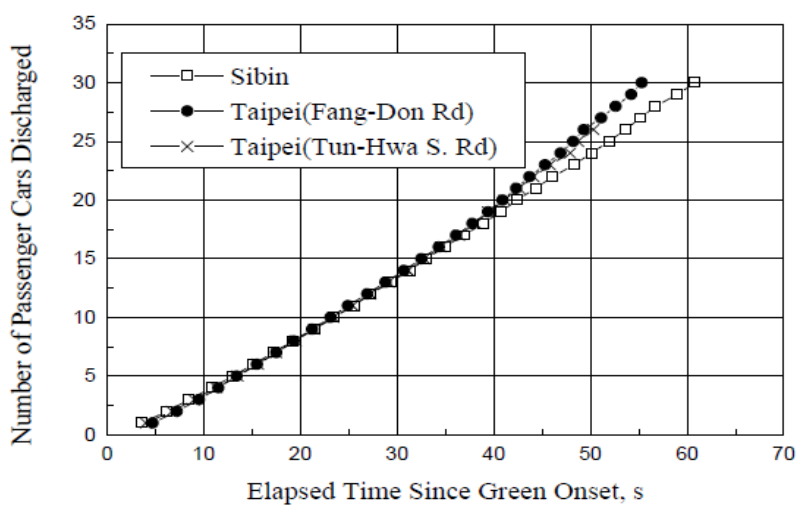
Le calcul de capacité est directement lié au débit des véhicules (1800 veh/h) or ce débit d'après les observations faites (Mallemoisson, Monaco) semble plus faible et donc le calcul théorique semble donner une capacité surévaluée. L'étude devrait pouvoir confirmer ou infirmer cela à partir d'études de cas.

- La récente étude de régulation des feux dans la vallée de Thann (Alsace) a montré

que lorsque la part de PL est élevée, les PL se trouvent régulièrement en tête de file, et leur démarrage fait perdre un temps considérable (de l'ordre de 10 secondes) lors du passage au vert. Ce phénomène pourrait être pris en compte puisqu'il impacte fortement la capacité dans le cas de cycles courts.

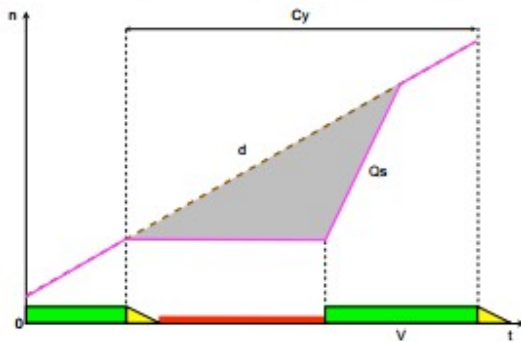
- L'article de R. Stokes indique que le débit de saturation dépend de la largeur de la voie (en particulier si la voie fait moins de 3 m de large), de la nature du mouvement au carrefour (droit ou tournant) mais également de la visibilité (jour, obscurité).

- L'article de P. Tseng et F. Lin propose une méthode prenant en compte le nombre de véhicules qui passent réellement pendant le temps de vert. Ce nombre est accessible par des comptages sur le terrain et pour eux, il varie très peu d'un cycle à l'autre (en l'absence de tourne à gauche). L'application de formules plus ou moins complexes avec des débits de saturation n'est pas forcément utile.



Remarque 6 : Les formules utilisées pour calculer le retard moyen et la longueur de la file d'attente ne prennent pas en compte les interactions entre les carrefours et notamment les éventuelles coordinations.

Le nombre de véhicules ayant franchit la ligne d'effet des feux en fonction du temps est figuré en violet pour la situation où les feux fonctionnent : il dépend du fonctionnement des feux et de la demande de trafic d . Lorsque le feu est au vert permanent, le nombre de véhicules ayant franchit la ligne des feux est figuré en tireté et violet : il dépend uniquement de la demande de trafic d (trafic de la voie la plus chargée gérée par la ligne de feu en question).



Le retard individuel moyen (temps moyen perdu par chaque véhicule) s'exprime alors comme suit :

$$r_{\text{moy}} = \frac{(Cy - V)^2}{2 \times Cy \times (1 - d/Qs)}$$

Le retard individuel maximal est égal à

$$r_{\text{max}} = Cy - V$$

La longueur maximale de la file d'attente est atteinte en fin de rouge et s'exprime alors comme suit :

$$L_{\text{max}} = 5 \times d \times (Cy - V), \text{ on compte une moyenne de 5m par unité de véhicule de particulier.}$$

Le nombre d'arrêts de véhicule par cycle ou par heure s'exprime alors comme suit :

$$N_{\text{arrêts}} = d \times \frac{(Cy - V)}{(1 - d/Qs)}$$

Cette formule peut être utile pour calculer les déperditions énergétiques.

Pour les piétons, il y a très rarement de formation de file d'attente aux feux, le débit de saturation pour l'écoulement des piétons est très élevé de l'ordre de 4 000 piétons par heure et par mètre de largeur de cheminement. On néglige alors d/Qs dans la formule du modèle de file d'attente.

$$r_{\text{moy}} = \frac{(Cy - V)^2}{2 \times Cy}$$

Les formules sur le retard moyen et la longueur de la file d'attente données ci-dessus sont valables pour le cas le plus simple: une arrivée de véhicules aléatoire, or en urbain c'est rarement le cas, et l'hypothèse, qu'à chaque cycle, la totalité des véhicules franchissent le feu.

- Dans HCM, il entre en jeu une notion d'arrivée des véhicules aléatoire ou en groupe, en introduisant un ratio d'arrivée groupée. Si les arrivées groupées se font

pendant le feu vert, le fonctionnement du carrefour est favorisé.

- Des études mathématiques ont aussi modélisé le comportement au feu en cas d'arrivée non aléatoire. (ressources internet)

Ne commence-t-on pas ici à sortir du champ des modèles statiques de dimensionnement pour entrer dans la simulation dynamique ?

Remarque 7 : Les formules utilisées pour calculer le retard moyen et la longueur de la file d'attente utilisent une durée de cycle fixe, lorsqu'il est variable, les calculs deviennent plus complexes.

Les logiciels de simulation dynamique de carrefour peuvent prendre en compte des longueurs de cycles variables au cours de la journée.
Les calculs sont basés sur un débit théorique et sur la véracité de ce débit.

question 5: Peut-on regarder de plus près la question de distribution du nombre de tourne-à-gauche par cycle ainsi que les risques d'auto blocage

Lorsque la phase permet le mouvement de tourne à gauche, il est conseillé de faire des cycles les plus courts possibles d'après le guide CERTU Carrefours Urbains 2010. L'augmentation de la durée de feu vert accroît le nombre de véhicules tournant à gauche et limite fortement la capacité du carrefour.

- Le guide de conception des carrefours à feux considère que si les mouvements de tourne à gauche sont inférieurs à 150 uvp/h ; ces mouvements sont compatibles avec leurs mouvements adverses et leurs stockages ne posent pas de difficulté. En fait, il faut adapter la durée du cycle à la possibilité de stockage du mouvement de tourne à gauche. Pour un mouvement de 150 uvp/h, elle ne devra pas dépasser 60s pour 3 véhicules à stocker par cycle.

A partir de 150 uvp/h pour le mouvement tourne à gauche, le traitement de ce mouvement doit être étudié avec précision.

Dans le guide, il a été fait le choix de ne pas prendre en compte les créneaux de passage du mouvement antagoniste pour avoir une marge de sécurité lors de la conception.

Un cycle long avec tag peut également entraîner des problèmes d'écoulement du tout-droit si les flux ne sont pas sur des voies séparées. Plus la phase de vert sera longue et plus le risque d'un véhicule en tag bloquant la filante sera important et réduira la capacité du carrefour.

- L'article de P. Tseng et F. Lin critique la méthode d'évaluation complexe du fonctionnement en tourne à gauche développé dans HCM. Il propose une méthode évaluant la capacité des carrefours avec tourne à gauche en ne servant pas du débit de saturation mais en se servant du nombre de véhicules franchissant réellement le carrefour en un temps donné (Cf question 4).

– dans un premier temps ils évaluent statiquement le nombre de véhicules franchissant le carrefour dans le sens 1 (proportion de véhicules allant tout droit par rapport aux véhicules tournant) avant qu'un véhicule tourne à gauche bloque le carrefour.

– dans un deuxième temps, ils évaluent le temps nécessaire à la file de véhicules opposée, sens 2, de franchir le carrefour. Ils en déduisent le temps de vert restant pour permettre à d'autres véhicules du sens 1 de franchir le carrefour.

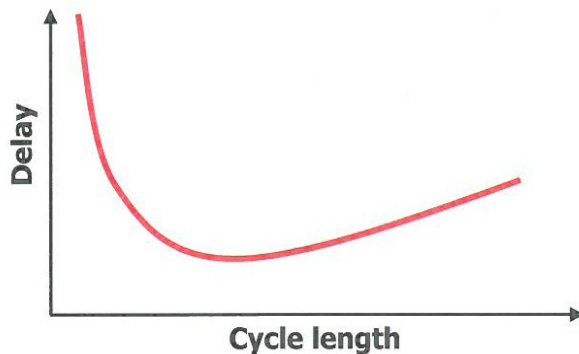
Question 6: Peut-on regarder le problème du stockage aux feux, explorer la distribution des variations des files d'attente surtout lorsque l'on est dans un réseau régulé?

Les calculs deviennent complexes quand une partie des véhicules ne franchit pas le feu. Il y a augmentation de la file d'attente et le retard s'accumule.

• Dans le HCM est développé un système de calcul permettant de prendre en compte une file d'attente initiale, de calculer l'augmentation ou la diminution de la file d'attente au cours des cycles si la capacité du carrefour est supérieure ou inférieure à la demande. La longueur de la file d'attente permet aussi de voir si le fonctionnement du feu perturbe le fonctionnement des carrefours en amont.

« Un carrefour ayant une capacité suffisante peut présenter des dysfonctionnements du fait d'un retard moyen très grand, d'une file d'attente très longue si le temps de cycle est très long ou les phases de feux ne sont pas adéquates. »

La courbe du retard en fonction de la longueur du cycle présente un optimum.



• Les algorithmes de régulation font l'objet de nombreuses études. L'INRETS a fait une étude en 2006 sur l'impact de plusieurs algorithmes de régulation sur le retard moyen, la durée de cycle sur un carrefour dans le Val de Marne.

• Le guide CERTU sur le dimensionnement des carrefours à feux donne également une méthode simplifiée de calcul pour les remontées de queue max. Il faudrait comparer ces sources.

• L'étude "Traffic flow at signalized intersections" traite du processus des remontées de file et insiste sur l'aspect aléatoire de l'arrivée des véhicules. Un diagramme retranscrit le processus de remontée de file pendant un cycle de feu et permet de déduire le retard moyen.

Question 7: Peut-on définir une méthode « simple » pour calculer les temps d'attente, les longueurs des files d'attente, le nombre d'arrêts aux feux pour les carrefours à phase spécial VTC sur appel?

• Dans l'étude, «La simulation dynamique pour concilier la priorité tramway et la régulation du trafic des autres modes», une simulation dynamique d'un carrefour avec une phase tramway a été réalisée avec le logiciel dynasim.

Une programmation en parallèle a été nécessaire pour la prise en compte de la phase

spéciale TC avec boucle de détection, la phase TC pouvant intervenir à tout moment dans le cycle tout en respectant la durée de vert minimum pour les phases de la circulation générale. Les fonctionnalités de ce logiciel ne permettaient pas cette prise en compte directement.

- L'étude "Traffic flow at signalized intersections" traite également du calcul du retard moyen et donne des formules de calcul en fonction de la durée du cycle, du temps de vert, la réserve de capacité et le débit d'arrivée des véhicules (veh/s). Cette étude évoque également les différents modèles de calculs statistiques pour évaluer ce retard moyen. Elle traite également de l'effet des feux placés en amont sur le retard. Deux observations sont faites, une première sur le fait que les véhicules franchissent souvent le feu en paquet séparé par le temps équivalent au rouge et une deuxième qui montre que le nombre de véhicules passant au vert pendant un cycle ne dépasse pas une valeur maximale correspondant au débit du feu. Il est évoqué également des variables d'ajustement pour évaluer les véhicules qui partent en fonction des véhicules arrivés. Elle évoque ensuite la théorie sur les feux adaptatifs et des formules pour déterminer les longueurs de cycles optimaux.

2.2.2 Acceptabilité des plans de feux par les usagers

Question 8 Comment est perçu le vert mini par les usagers ?

Le temps de vert minimum piétons est de 10 s au Canada (en France 6s). Il n'a pas été trouvé d'élément sur la perception du vert mini par les usagers.

Question 9 Fréquence du problème de dépassement des 120 s en France ? Quelles sont les villes à Tramway où il n'y a pas de problèmes de dépassement des 120 s comment font les maîtres d'ouvrages?

L'IISR affirme que « le temps d'attente imposé à un usager ne doit jamais excéder cent vingt secondes en fonctionnement normal. Toutefois, dans certaines circonstances exceptionnelles d'actions prioritaires (proximité d'un passage à niveau, d'un pont mobile, etc.), la nécessité de faire dégager d'urgence certains véhicules peut conduire à déroger aux contraintes de durée précédentes. »

Pour répondre à cette question, une interview de gestionnaires de voiries et d'exploitants des réseaux de transport en commun a été réalisée. Le rapport réalisé par la DTer Est revient en détails sur les entretiens et leur analyse.

Question 10 : comment sont perçus les temps d'attente par les usagers et notamment les piétons ? Y-a-t-il des modèles? L'approche temps maximum est-elle pertinente ?

Cela reprend également la question 8.

- L'étude « Car drivers' perception and acceptance of waiting time at signalized intersections » de 2011 traite de l'impact de différents facteurs sur la perception du temps d'attente, notamment le temps d'attente réel, le nombre d'arrêts dans la file (nombre d'arrêts puis de redémarrages), la synchronisation des carrefours à feux sur un même tronçon (« onde rouge », avec arrêt à chaque carrefour) et le temps de vert perdu (temps de vert offert aux autres voies pendant lequel aucun véhicule ne passe).

L'étude explique que la gestion des carrefours à feux et le calcul des cycles de feux devraient intégrer l'acceptabilité des temps de rouge, car cette dernière peut impliquer des franchissements ou des vitesses excessives. Les usagers évitent également les carrefours à feux quand ils perçoivent que le temps d'attente est trop long. Les plans de feux sont déterminés dans l'objectif de minimiser les temps d'attente des usagers. Il pourrait être envisagé de ne plus rechercher ce temps d'attente minimal, mais de viser un temps minimal d'attente ressenti.

L'étude est basée sur un sondage vidéo : le sondé regarde un film, long d'une à quatre minutes, lors duquel il incarne le conducteur. À la fin du film, il estime le temps d'attente à chaque feu, et précise si le temps d'attente est acceptable ou non. Ces données (730 résultats), ont permis aux chercheurs de calibrer leur modèle, qui évalue l'influence de chaque paramètre sur la perception du temps d'attente. L'étude a ensuite été complétée par des analyses terrain, lors desquelles les conducteurs étaient accompagnés d'un « surveillant ». Après chaque arrêt, le conducteur estimait le temps d'attente.

L'étude présente des limites. Le temps de vert perdu a un impact important sur la perception. Malheureusement, le sondage par vidéo n'a pas permis d'évaluer ce paramètre, car les sondés ne pouvaient voir précisément les véhicules sur les voies en conflit. Le sondage n'a pas non plus pris en compte le motif du déplacement, qui a une influence réelle sur la perception.

L'étude a donné les résultats suivants :

- Les temps courts et longs sont susceptibles d'être surévalués. Les temps moyens (entre 40 et 60 secondes d'arrêt), sont perçus de manière précise.
- Un grand nombre d'arrêt dans une file (nombre de cycles nécessaires avant de traverser le carrefour), implique une surestimation du temps d'attente. Par contre, les usagers préfèrent avancer et s'arrêter plusieurs fois que d'attendre le même temps sans bouger.
- Les usagers n'aiment pas passer un carrefour au vert puis s'arrêter au carrefour suivant, lorsqu'ils sont proches et non coordonnés. Un temps d'attente court au deuxième carrefour est souvent perçu comme beaucoup plus long.
- En raison des différents paramètres cités, la relation entre temps d'attente réel et perçu n'est pas linéaire. Ainsi pour chaque carrefour, d'autres plans de feux pourraient être déterminés, qui minimiseraient le temps d'attente perçu plutôt que le temps d'attente réel, pour une meilleure acceptabilité de la part des usagers.

- Une étude sur la perception des temps d'attente "Perception of waiting at signalized intersections" essaie de voir la différence entre la perception du temps d'attente et le temps d'attente réel. Il est d'abord rappeler que la perception du temps d'attente peut changer en fonction de la conception du signal d'attente. Ils ont réalisé une simulation et une enquête auprès d'usagers selon 4 scénarios de configuration avec un enchaînement de 3 intersections. Il ressort de ces enquêtes que les usagers perçoivent toujours le temps d'attente de façon plus importante que le temps d'attente réel. Deuxièmement, la quasi majorité des usagers préfère attendre un temps d'attente global plus important mais des temps plus courts à chaque intersection. Cette étude confirme les résultats obtenus par l'étude précédente.

question 13: Quelle est l'influence de la durée du vert sur la vitesse des véhicules et les franchissements au rouge?

D'après l'étude réalisée par le CETE NC, si la phase de vert est trop courte il y a un risque de franchissement en début de rouge.

question 14: Quelle est l'influence de la durée du rouge sur les franchissements de rouge et notamment l'anticipation au vert?

Il est dit toujours dans l'étude du CETE NC que si la phase de rouge donc la phase de vert pour le mouvement antagoniste est trop longue, elle peut entraîner un franchissement par anticipation.

2.2.3 Le déplacement des piétons

- Le HCM introduit une théorie sur les déplacements piétons (par analogie aux déplacements des véhicules motorisés).

Les déplacements piétons sont caractérisés par la vitesse de déplacement et l'espace disponible pour le piéton pour se déplacer.

La vitesse est fonction des caractéristiques de la population considérée en particulier de son âge. Elle varie en fonction de l'espace disponible pour le piétons; une densité importante de gens entrave les déplacements.

Capacité de la traversée piétonne

Le débit de saturation pour l'écoulement des piétons est très élevé: 5000 piétons/m/heure.

Durée de la phase piétonne

La durée de la phase piétonne n'est pas conditionnée par la capacité mais par le temps de réaction et le temps nécessaire au piéton pour traverser.

Le temps de réaction des piétons est le temps de détection du changement de feu et le temps nécessaire pour s'assurer que le passage est libre. Il est de l'ordre de 4 à 7 s.

Le temps de traversée dépend de la longueur de celle-ci et de la vitesse du piéton. La vitesse généralement prise en compte est comprise entre 1,2m/s et 1m/s (mêmes valeurs dans le guide canadien).

Cette vitesse est également utilisée pour calculer la durée du rouge de dégagement piéton.

Acceptabilité de l'attente et retard moyen pour les piétons

Les piétons deviennent impatients quand **le retard moyen est supérieur à 30 s** et ils ne suivent plus les indications.

Par ailleurs, de nombreux piétons traversent au rouge de dégagement piétons. Ce comportement dépend du temps d'attente mais également de la circulation, de l'existence d'un compte à rebours et de la répression policière.

Certains piétons pouvant traverser à bien plus de 1m/s, ils savent qu'ils ont encore le temps de traverser pendant le rouge de dégagement. Il y a peut être un critère sur la typologie des piétons traversant au rouge ? Ceci est lié aussi à la durée des temps de dégagement entre les phases piétons et TC car si le temps est trop long donc phasage mal réglé, les piétons ont tendance à passer au rouge.

- D'après le TFE « Signalisation lumineuse pour les piétons, État de l'art et pistes d'amélioration » de 2009, l'étude de la ZELT de 2005 a étudié les traversées des piétons sur 8 passages et observé la traversée de plus de 18 000 piétons. Il en ressort les résultats suivants :

- 65 % des piétons traversent au vert
- 8 % traversent pendant le rouge de dégivrement
- 27 % traversent au rouge.

Les traversées fonctionnant avec bouton-poussoir sont plus souvent passées au rouge que les traversées en cycle fixe (39.9% contre 24.4%).

L'étude semble montrer que le nombre de passages au rouge dépend de la densité de véhicules, mais pas de la vitesse d'approche des véhicules.

Plus le temps de vert consacré aux piétons dans le cycle est faible, plus les piétons prennent un risque en s'engageant au rouge, car plus les véhicules disposent de vert, plus ils approchent vite.

En moyenne, les piétons traversant au rouge attendent 6.7 s sur le trottoir avant de s'engager (en comptant les personnes qui s'engagent sans attendre, 36%). Le temps d'attente ne dépasse 10 secondes que pour 23% des cas.

- Etude comportementale

Résultats de l'étude : Facteurs perceptifs dans la décision de traversée de rue une étude de laboratoire, Lara Désiré, ERA 33, LR Saint-Brieuc (6)

Pour les carrefours avec feu, il ressort que la décision de traverser dépend évidemment de l'indication du feu vert piétons mais également de la présence de piétons en train de traverser. La décision de ne pas traverser dépend de la présence de véhicules dans le carrefour et la présence de piétons en attente de part et d'autre du passage piétons.

2.2.4 Le déplacement des cyclistes

- Approche HCM

Capacité théorique pour les cyclistes

- cas des voies spécifiques pour les cycles

Le débit maximal pour une voie spécifique pour cyclistes est évalué à 2000 vélos/heure.

Retard Moyen

Le retard moyen pour les cyclistes est le même que pour les voitures si ils n'ont pas de voie spécifique.

Un retard spécifique aux cyclistes peut-être calculé si il y a une voie spécifique.

Acceptabilité de l'attente et retard moyen pour les cyclistes

Les cyclistes deviennent impatients quand **le retard moyen est supérieur à 30s** et ils ne suivent plus les indications.

Approche du guide canadien:

Pour les cyclistes insérés dans la circulation, ils sont comptabilisés comme un équivalent véhicule de 0, voie très large, à 1, si la voie est très étroite (les véhicules ne peuvent pas dépasser le cycliste).

Pour les temps de dégagement, l'étude indique que : «La pratique montre que les temps de dégagement pour les automobilistes conviennent aux cyclistes » «dans des circonstances exceptionnelles d'autre valeurs peuvent être considérées »

- Etude comportementale

Selon une étude de 2007 sur les cyclistes parisiens: 77% déclarent avoir déjà roulé sur les trottoirs, 62% disent ne pas avoir respecté les feux rouges, [..]

Depuis il y a eu l'autorisation du tourne-à-droite cycliste .

2.2.5 Le déplacement des automobilistes

1 Etude de franchissement des feux rouges par les véhicules

Les franchissements des feux rouges peuvent être volontaires ou involontaires (mauvaise vision, incompréhension,..). Il n'est pas possible de faire la part de ces différences de comportements dans les taux de franchissements.

Il est à noter que la présence de contrôle sanction automatisé au feu rouge fait baisser de 60% les franchissements.

Etude ZELT 2001 : principaux résultats

Taux de franchissement au rouge:2,9%

Sur 100 véhicules qui franchissent le feu, 2,9 le franchissent pendant le temps de rouge.

répartition des franchissements (%)

Rouge de dégagement	59,5
Anticipation du vert (franchissement au cours des 5 dernières secondes de rouge)	7,1
Autre période du rouge	33,4

Facteurs influant le franchissement au feu

-l'heure : le taux de franchissement est plus élevé la nuit pour atteindre un maximum entre 4H30 et 5H30. Ceci est confirmé par l'étude du CETE NC

-caractéristiques du carrefour

Les taux de franchissement augmentent avec les caractéristiques suivantes :

-une bonne visibilité sur le courant antagoniste

-une distance relativement importante entre les feux antagonistes : temps de rouge de dégagement élevé

-nombre de voies sur les différentes entrées du carrefour. L'article *Association of Selected Intersection Factors With Red-Light-Running Crashes*, Highway Research Center, Virginia, USA, 2000, traite de l'influence de la géométrie des carrefours sur le nombre de franchissements, et montre que plus il y a de voies sur les entrées, plus il y a de franchissements de rouge.

-L'article *Reducing Red Light Running*, Insurance institute for highway safety, USA, 2007, mène une étude statistique qui montre que les carrefours équipés de radars à feux présentent moins de franchissements de rouge.

-cycle et phasage : l'article *Investigation of Red Light Running Factors*, University of Florida, USA, 2004, montre que si le ratio g/C (temps de vert affecté à sa voie, sur durée totale du cycle) est faible, alors le nombre de franchissements de rouge sera plus élevé sur la voie concernée.

Le franchissement peut-être lié à des situations saturées comportant des blocages internes au carrefour.
Est-ce qu'un usager passant au jaune mais restant coincé dans le carrefour est considéré comme un franchissement du rouge ?

Comportement des conducteurs :

L'article *Making intersections safer*, ITE, USA, 2003, montre que si le véhicule laisse peu de distance de sécurité entre lui et le véhicule devant lui, ses chances de franchir le rouge sont plus importantes.

Cas particulier d'un carrefour bénéficiant d'un système permettant le démarrage anticipé des bus par allumage du « vert bus ».

Le taux de violation du rouge par « anticipation du vert » est 3 fois supérieur à la moyenne.

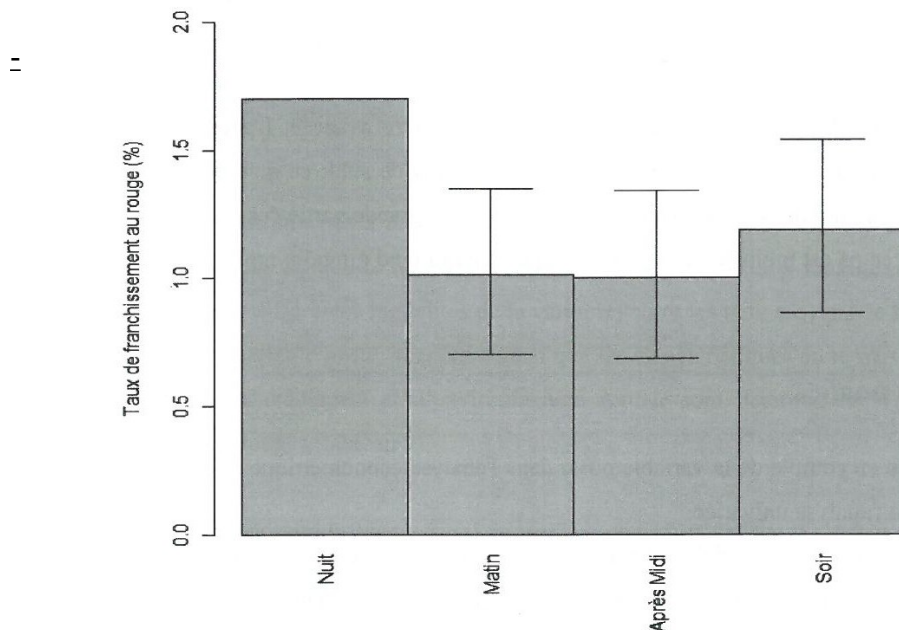
« Les taux d'anticipation du vert sont observés à la fois sur la voie de bus elle-même et sur la voie adjacente. Sur la voie de bus elle-même : il est vraisemblable qu'une partie des anticipations sont provoquées par les bus eux-mêmes ou par les véhicules qui utilisent le couloir d'une manière licite ou illicite; nous avons pu constater in situ une «sur-anticipation » des démarrages dans le couloir. Sur la voie adjacente il est indéniable que le démarrage du bus tend à provoquer un démarrage (ou dans le meilleur des cas un démarrage avorté) du premier véhicule en attente dans la file adjacente, et parfois de quelques véhicules qui le suivent. »

Analyse des franchissements de feux rouges sur l'agglomération nantaise

Taux de franchissement moyen 1,56%

Facteurs influant sur le franchissement au feu

- l'heure : Evolution du taux de franchissement en fonction de l'heure



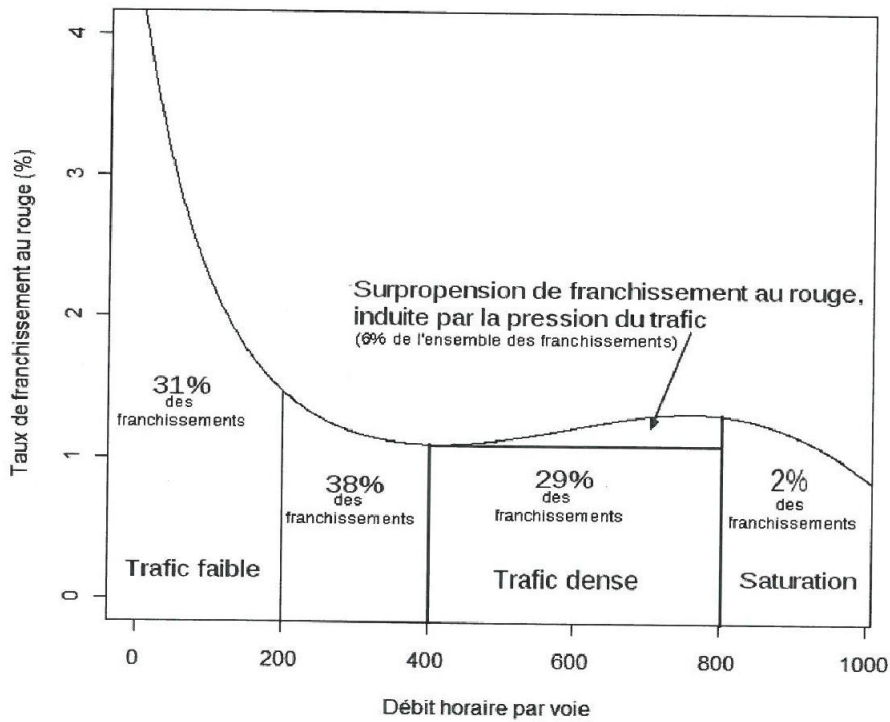
Graphique 15 : Effet de l'heure sur les taux de franchissement au rouge

caractéristiques du carrefour

Le taux de franchissement dépend du carrefour. Le taux de franchissement est de moins de 0,5% à plus de 10% selon les carrefours étudiés sur l'agglomération nantaise. Cette

remarque est également confirmée par l'étude du CETE NC, les franchissements au rouge varient énormément en fonction de l'environnement du carrefour.

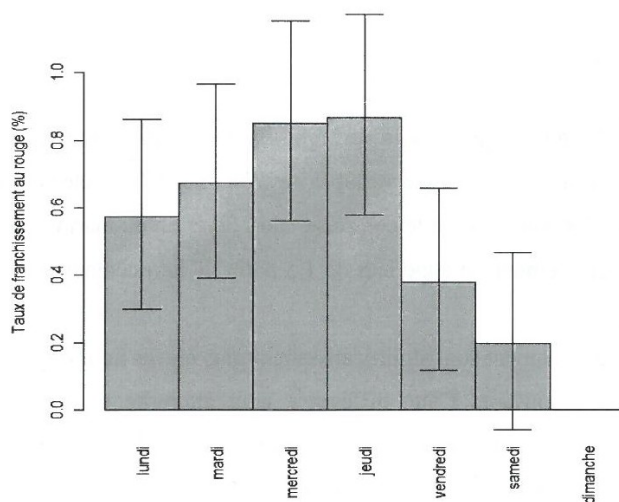
-débit horaire de la voie



Graphique 14: Répartition des franchissements suivant les profils de trafic

« 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 (franchissement dans les premières secondes) ».

- Impact du jour de la semaine : Impact du comportement



« 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 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 de temps est moins élevée pour ces jours, ce qui rend moins « rentable » l'infraction au rouge. »

Conclusion très rapide, il peut y avoir également un lien avec les trafics et les durées de cycles existants les week-ends. La différence entre lundi et jeudi (~50% supérieure) mérite de creuser la question.

Question 11: Les temps d'attente trop longs peuvent-ils être perçus comme des pannes que dit la jurisprudence?

Le problème est évoqué par les usagers (automobilistes et deux roues motorisés) sur internet mais pas de réponse officielle trouvée. Les deux roues motorisé font part de problème de détection de leur véhicule au feu régulé par capteur (le feu ne passe pas au vert).

Question 12: Un fonctionnement acyclique des feux modifie -t-il la perception de l'attente aux feux ?

....

Question 15: Quelle est l'influence du fonctionnement acyclique sur les vitesses et les franchissements de rouge ?

- L'étude du CETE NC sur les franchissements au rouge confirment qu'une bonne coordination du cycle de feu a une influence positive sur le comportement des usagers et limite donc les franchissements au rouge.

- Dans le guide canadien, il est préconisé que le passage prioritaire des transports en commun dans un système régulé se fasse par omission de phase ou rotation pour éviter des confusions pour les automobilistes. La phase spéciale doit s'intercaler en diminuant ou en supprimant une phase véhicule mais pas les phases piétonnes.

Impact de la régulation sur la sécurité

Si les feux sont mal réglés, quand le trafic est peu important, l'arrêt sans que des véhicules passent entraîne une frustration des conducteurs et une prise de risque. Il en est de même d'un retard moyen excessif.

Le guide conseille d'enlever la signalisation lumineuse en fin de nuit.

La cohérence et l'uniformité des carrefours limitent les erreurs de conduite car les conducteurs anticipent les situations en fonction de l'environnement et de leur expérience.

2.3 Synthèse de la recherche bibliographique

La recherche bibliographique a apporté des éléments de réponse sur l'impact des cycles de feu sur la capacité du carrefour, l'acceptabilité des temps d'attente et la sécurité pour les automobilistes, les cyclistes mais également les piétons.

Hypothèses de calcul pour la conception des carrefours

- La valeur de 1800 veh/h pour le débit de saturation automobile se retrouve dans la littérature
- Les facteurs influant sur le débit de saturation peuvent être d'ordre géométrique (largeur de voies, visibilité,...), lié aux usages (présence de parking à proximité, arrêt de bus,...) ou au fonctionnement du carrefour (mouvements tourne à droite ou à gauche, ...)
- Le débit de saturation n'est pas constant au cours du temps. Il est plus faible dans les 15 premières secondes; le temps de passage des véhicules devient constant au bout du 5 ième véhicule. Le débit de saturation diminue au bout d'un certain temps (au bout de 35 secondes pour le guide canadien).
- Le retard moyen et la longueur des files d'attente ne peuvent être calculés simplement que pour des carrefours isolés et avec des arrivées de véhicules régulières. Il existe de nombreux logiciels de simulations qui calculent les cycles de feux pour minimiser les files d'attente et les retards moyens
- Le débit de saturation pour les cyclistes est de l'ordre de 2000 vélo/h
- Le débit d 'écoulement pour les piétons est de l'ordre de 5000 piétons/m/h; la vitesse des piétons est de 1m/s et varie notamment en fonction de l'âge. La durée de la traversée piétonne est conditionnée par le temps de réaction et le temps de traversée des piétons et non par la capacité.

La bibliographie semble indiquer que la valeur du débit de saturation dépend des carrefours et n'est pas constant au cours du temps. **Ce point sera à vérifier par l'expérimentation.**

Acceptabilité de l'attente aux feux

- Pour les automobilistes, le temps d'attente est toujours surévalué. En termes de ressenti, l'automobiliste préfère en général avoir des temps d'attente répétés plus courts sur plusieurs carrefours plutôt qu'un temps d'attente très long à un carrefour.
- Pour les cyclistes, le temps au bout duquel ils s'impatientent est de l'ordre de 30 secondes.
- Pour les piétons, le temps au bout duquel ils s'impatientent est de l'ordre de 30 secondes.

Des cycles longs avec des temps d'attente longs peuvent induire des comportements à risques selon la littérature. **Ce point est à creuser dans la suite de l'étude.**

Impacts des cycles de feux sur la sécurité : franchissements aux feux rouges

- Pour les automobilistes, le taux de franchissement était en 2001 de 2,9% dont 60%

pendant le début du rouge et 7% par anticipation du vert. Le taux de franchissement augmente quand la circulation devient plus dense (pression du trafic). Le taux de franchissement dépend fortement du carrefour mais aussi par exemple du jour de la semaine. Les aspects comportementaux liés aux franchissements sont donc complexes.

- Pour les automobilistes, les phases courtes entraînent plus de franchissement en début du rouge. Il y a peu d'élément sur le franchissement en fonction de la durée du feu, du caractère acyclique du feu. Des études indiquent que la coordination des feux, la cohérence et l'uniformité du fonctionnement limitent les erreurs de conduite.
- Pour les cyclistes, le franchissement au feu rouge est très fréquent. En 2007, avant la mise en place du tourne à droite cyclistes, 62% des cycles parisiens déclaraient ne pas respecter les feux.
- Pour les piétons, 27% traversent au feu rouge et 8% au feu rouge de dégagement. Le taux de franchissement dépend de la densité des véhicules et de la présence de piétons en train de traverser.

Il y a peu d'éléments dans la littérature sur les franchissements aux feux rouges pour des feux longs et leur impact sur la sécurité. Les phases de vert courtes semblent entraîner des franchissements de feux plus fréquents pour les automobilistes. **Ce point serait à étudier dans la suite de l'étude.**

3 Hypothèses de conception des carrefours à feux

Dans cette partie, la pertinence des hypothèses de calculs de la conception des carrefours à feux est posée. La valeur du débit de saturation qui est la base de la méthode sera vérifiée; l'analyse bibliographique indique que cette valeur dépend du carrefour et n'est pas constante au cours du temps.

Dans un premier temps, les gestionnaires de feux de villes avec tramways ont été interrogés pour connaître leur politique de gestion des carrefours à feux et la valeur du débit de saturation qu'ils utilisaient pour connaître l'état des pratiques dans ces deux domaines.

Dans un deuxième temps des données ont été recueillies pour calculer le débit de saturation. Les données fournies par la ville de Paris ont été exploitées.

Dans un dernier temps, suite à la difficulté d'obtenir des données exploitables, il a été réalisée une phase d'expérimentations.

Cette phase d'expérimentations avait pour but de mettre au point une méthodologie et de vérifier:

- la valeur du débit de saturation pour quelques carrefours
- l'influence de la durée du vert sur le débit de saturation
- les coefficients utilisés pour tenir compte de la présence des poids lourds
- les coefficients utilisés pour tenir compte du rayon de giration

3.1 Pratiques des gestionnaires de voirie

3.1.1 Mode de gestion des feux et valeur du débit de saturation utilisée par les gestionnaires de feux des agglomérations avec transport collectif en site propre

Des éléments ont été recueillis lors des entretiens réalisés par la DTer Est sur la problématique du non-respect de la règle de fonctionnement des carrefours à feux fixée par l'IISR (6ème partie) qui impose un temps d'attente maximal au feu de 120 seconde pour tout usager.

Dans le tableau en annexe 2 sont reprises les informations données par les collectivités sur

- leur politique de gestion des carrefours à feux
- la valeur du débit de saturation qu'elles utilisent

3.1.1.1 Stratégie de gestion des carrefours à feux et de la durée du cycle

Un nombre important d'agglomérations ont pour politique de faire des cycles de feux les plus courts possibles. Elles évoquent les raisons suivantes :

- limiter les temps perdus
- réduire les temps d'attente au feu
- éviter les franchissements au rouge

Pour des carrefours " classiques ", la durée maximale des cycles de feux est de l'ordre de 90 secondes.

Plusieurs agglomérations ont mis en place une gestion de feux à l'aide de logiciel.

Remarque : Certaines agglomérations ont dû modifier la programmation des contrôleurs de feux pour qu'ils prennent en compte la règle des 120 secondes.

La gestion des carrefours feux en phase exploitation :

Outre les paramètres liés à la conception du carrefour, le fonctionnement est assuré par une gestion des cycles de feux par des automates de régulation pouvant être asservis à des boucles de comptages. La gestion peut se faire soit par carrefour soit sur un réseau de plusieurs carrefours.

3.1.1.2 Valeur du débit de saturation utilisée par l'agglomération

Valeurs du débit de saturation

- Certaines agglomérations choisissent dans leurs études d'appliquer la valeur de référence de 1800 veh/h (guide de conception des carrefours à feux - 2010) à priori.
- Certaines agglomérations choisissent d'utiliser la valeur 1 800 veh/h car elles ont vérifié cette valeur: Grenoble, Rouen.
- En région Ile de France et à Paris, la valeur habituelle est 1 800 veh/h mais le débit de saturation choisi peut-être plus important jusqu'à 2 000 veh/h (valeur à vérifier sur données terrain). La ville de Paris a fourni des données qui sont traitées dans la partie suivante.
- D'autres agglomérations adaptent cette valeur car elles ne la trouvent pas réaliste en zone urbaine dense et prennent en compte divers paramètres (densité urbaine de la zone, pente, revêtement, tourne à gauche,..)

La valeur de 1600 veh/h est la plus citée : Metz, Mulhouse, Nîmes, Toulouse, Tours

La valeur de 1500 veh/h est prise par Le Mans et Le Havre.

Lyon et Marseille font état de valeur de débit de saturation très contrastée notamment dans le cas de gêne sur l'axe ou de saturation : débit en cas de saturation de 1 200 veh/h à Lyon.

A Marseille, la capacité des voies de circulation peut descendre à 900 veh/h par heure lorsqu'il est tenu compte de l'ensemble des phénomènes perturbant l'écoulement des véhicules: présence des feux, stationnement, etc...

La valeur du débit de saturation choisi ne dépend pas de la région ni de la taille de l'agglomération mais plutôt de l'environnement urbain au sens large.

Conclusion générale sur les valeurs prises par les collectivités locales

- Les valeurs prises sont variables (de 2000 veh/h à 1200veh/h).
- Les valeurs choisies proviennent parfois de connaissances empiriques.
- Des comptages sont réalisés de façon ponctuel au carrefour à feux (comptages manuels) pour confirmer ces valeurs.
- Les boucles de comptages mesurent la capacité des voies et non le débit au feu. Il y a parfois abus de langage entre le débit d'une voie en section courante avec carrefour à feux et le débit aux feux.

3.1.2 Enseignements tirés

3.1.2.1 Enjeux liés à la conception des carrefours à feux

L'analyse des réponses fournies montre qu'il y a un réel enjeu à vérifier la valeur de référence du débit de saturation car un certain nombre d'agglomérations utilise des valeurs très différentes de celle de référence. Cela sous entend que cette valeur n'est pas toujours adaptée à tous les types de carrefours.

Cette valeur servant de base à l'ensemble des calculs, une valeur du débit de saturation non adaptée pour le carrefour peut entraîner des dysfonctionnements (capacité non suffisante, phasage inadéquat, ..) ou un mauvais dimensionnement.

Ce débit sert également à calculer les réserves de capacités dans les carrefours existants.

Il apparaît comme nécessaire de vérifier sur le terrain cette valeur sur laquelle repose la conception des carrefours en prenant en compte l'environnement urbain spécifique à chaque carrefour ; c'est l'élément majeur qui amène les collectivités à adapter la valeur du débit de saturation.

La méthode de conception des carrefours à feux à appliquer est celle définie dans le guide des carrefours urbains du CERTU 2010. Elle est basée sur des hypothèses de calculs comme le débit de saturation mais aussi sur des coefficients à appliquer pour les différents types de véhicules et les différentes configurations de mouvements tournants (notion d'uvp unité de véhicules particuliers et uvpd unité de véhicules particuliers directs). Les coefficients à appliquer dans la méthode doivent être également vérifiés.

3.1.2.2 Enjeux liés à la politique de gestion des feux et la priorisation des modes

Un nombre important d'agglomérations limite la durée du cycle. L'atteinte d'un optimum capacitaire n'est donc plus l'unique enjeu lors de la conception du carrefour à feux. Quelle

est la priorité de l'agglomération en terme de gestion de feux dans ce cas, hors la priorisation des transports en commun, et les conséquences sur la durée du cycle et du phasage pour l'ensemble des modes?

De nombreuses agglomérations ont un réseau de carrefour régulé.

Les objectifs de régulation ne peuvent-êre réellement atteints que si les hypothèses de calcul de départ sont réalistes.

Il serait souhaitable de s'interroger sur les hypothèses de calculs de ces régulateurs et logiciel et en particulier l'utilisation de valeur non réaliste du débit de saturation et vérifier qu'ils prennent en compte l'ensemble des valeurs réglementaires.

3.2 Recherche de données de comptage existantes pour la détermination du débit de saturation

3.2.1 Recueil de données

La démarche choisie, avant de procéder aux expérimentations, est d'essayer de recueillir des données de comptages pour calculer les débits de saturation.

Ce recueil de données pour déterminer les débits de saturation s'est avéré difficile pour plusieurs raisons.

Boucles de comptages

Les boucles de comptages mesurent le débit des voies et non le débit aux feux. Il n'est souvent pas possible de relier le temps de vert au débit des voies. De plus, ces comptages ne donnent pas d'éléments qualitatifs sur le fonctionnement du carrefour (problème de saturation en aval, blocage tourne à gauche,...).

Étude de fonctionnement des carrefours

Ces études ont pour but d'évaluer le fonctionnement des carrefours. Les comptages sont réalisés pour évaluer la demande de trafic sur l'heure de pointe. Le détail par cycle et la mesure du temps de vert ne sont pas toujours fournis. Les éléments qualitatifs du carrefour ne sont souvent pas assez détaillés.

Contrôle automatisé de franchissements au feu rouge

Le déploiement du contrôle automatisé au feu rouge sur l'ensemble du territoire laissait entrevoir une base de données importante. Cependant, des contraintes réglementaires empêchent l'accès à cette base. De plus, elle n'est pas reliée aux temps de vert; son exploitation aurait été difficile.

Conclusion

Il s'est avéré indispensable de réaliser des comptages in situ pour répondre à nos questionnements car l'utilisation des comptages réalisés dans un autre but est difficile et pose des problèmes de fiabilité.

3.2.2 Exploitation des données de comptages fournies par la ville de Paris

Le détail de l'exploitation des données se trouvent à l'annexe 3 .

3.2.2.1 Débit sur une voie sans feu

Le débit maximal atteint par file sur l'axe VGP (Voie Georges Pompidou : voie sur berge) avant l'implantation des feux est de 1950 veh/h pour une vitesse maximale autorisée de 50 km/h.

3.2.2.2 Analyse des comptages sur les grands boulevards

Débit sur un carrefour à une file de circulation

Sur les Grands Boulevards sens Ouest-Est, le temps de vert est 55 secondes, la durée du cycle est de 90 secondes . Le débit maximal de saturation mesuré est Q_{max} :1427 veh/h.

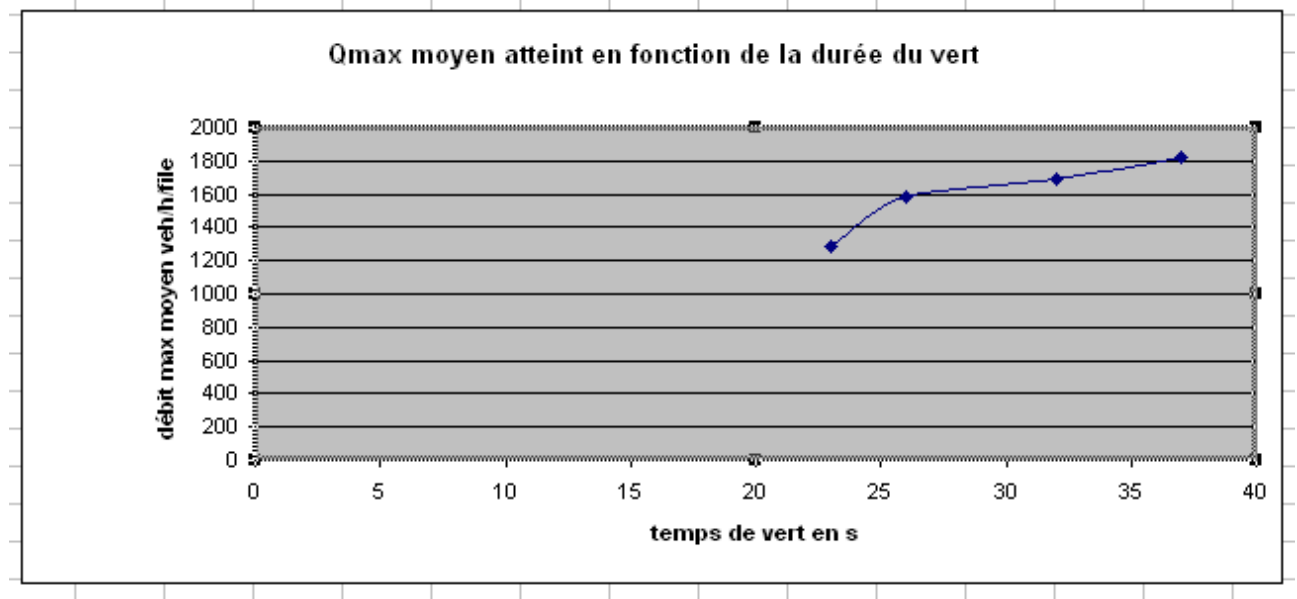
Débit sur un carrefour à deux files de circulation et temps de vert variable

Les Grands Boulevards dans le sens Est Ouest comportent 2 voies de circulation. Différents plans de feux sont appliqués en fonction de l'heure. Le tableau ci-dessous regroupe les débits atteints par file pour chacun de ces plans.

Débit en (veh/h) atteint en fonction du phasage du feu

Temps de vert (s) Tv	23	26	32	37
Durée du cycle (s) Cy	60	70	90	90
Tv/Cy	0,38	0,37	0,36	0,41
Qmax atteint par file veh/h	1383	1683	1835	1906
Q max atteint moyen (10 valeurs du débit les plus importantes) veh/h	1288	1583	1688	1827
Heure de la journée	21H-7H	12H-14H	14H-21H	7H-12H

Le graphe représente le débit moyen atteint en fonction de la durée de vert des différents plans de feux.



Le débit atteint augmente avec la durée du vert (durée entre 23 et 37 secondes). La durée de vert est augmentée en fonction de la demande à écouler.

3.2.2.3 Conclusion

A Paris, la valeur du débit de saturation de 1800veh/h est atteinte (cf.grands boulevards). Ceci est en cohérence avec les informations fournies par Paris et les conseils généraux des départements de la petite couronne.

La valeur du débit de saturation sur une voie à 50 km /h équipée de feux de 1800 veh/h est à priori une valeur haute.

3.3 Premières expérimentations sur la vérification des valeurs utilisées pour la conception des carrefours à feux

3.3.1 Objectifs

3.3.1.1 Expérimentation de la méthodologie

L'objectif est de tester différentes méthodes de comptages.

3.3.1.2 Mesure du débit de saturation et vérification des coefficients utilisés dans le guide.

Le premier objectif est de mesurer le débit de saturation au feu vert dans quelques

carrefours. Le but est de savoir dans quel intervalle le débit de saturation peut varier.

Le deuxième objectif est d'étudier l'évolution du débit en fonction de la durée de vert sur des carrefours ou la durée du vert est importante (plus de 50 secondes). En effet, il est considéré que l'allongement de la durée de vert augmente la capacité du carrefour ce qui n'est pas forcément corroboré par les retours d'expériences.

Le dernier objectif est de vérifier in situ les coefficients indiqués dans le guide de conception des carrefours à feux pour le type de véhicule et les mouvements tournants.

Afin de tenir compte de l'influence des différents types de véhicules, des coefficients d'équivalence permettent d'homogénéiser les débits. En particulier les poids lourds sont comptabilisés comme 2 VL. L'objectif est de vérifier ce coefficient à l'aide de comptages.

De même, un coefficient permet de prendre en compte les mouvements tournants. Pour une giration de 90°, il est pris égale à 1,1. Il sera vérifié.

3.3.2 Enseignements sur la méthodologie

Deux méthodes ont été expérimentées: par enregistrements vidéos et par comptages manuels.

3.3.2.1 Comptages par enregistrements vidéos

Cette expérimentation s'est intégrée dans une étude de fonctionnement globale d'un carrefour de la ville de Martigues. L'objectif premier était de compter les différents flux Origine /Destination sur chaque branche du carrefour.

Les comptages avaient pour objectif :

- la détermination du débit de saturation : nombre de véhicules franchissant le feu pendant la durée du vert
- connaître l'évolution du débit de saturation en fonction de la durée du vert
- vérifier les coefficients appliqués sur les véhicules
- vérifier l'influence de certains paramètres :
 - mouvement tournant avec un angle de giration
 - démarrage en « côte ».

Les résultats attendus pour chaque branche et chaque mouvement étaient :

Une analyse quantitative

Des comptages indiquant le temps de vert et le nombre de véhicules qui franchissent le feu pendant la durée du vert avec une identification des différents types de véhicules PL, VL, 2R. Pour certains branches, le nombre de véhicules passant par tranche de 10 s de vert , 0-10 10-20 20-30 30-40. et l'indication de la présence d'un PL ou un bus en tête de file pour voir l'impact sur le débit dans la branche présentant une pente.

Une analyse qualitative

- fonctionnement "en charge" du carrefour

Savoir si l'arrivée des véhicules sur la ligne de feux est constante (fonctionnement en

charge) ou si le nombre de véhicules passant au feu est limité par des arrivées peu importantes.

- dysfonctionnement

indiquer si des événements limitent le franchissement du feu: traversées de piéton, blocage tourne à gauche, congestion à l'aval

Acquisitions des enregistrements vidéos

La réalisation des comptages est faite par enregistrements vidéos des mouvements des véhicules sur chaque branche du carrefour.

Ces enregistrements ont été réalisés à l'heure de pointe du matin entre 8h et 9H30, le mardi 10 juin 2014. Elle nécessite la présence d'une équipe pour installer le matériel et le surveiller durant tout l'enregistrement.

L'exploitation des enregistrements vidéos

L'exploitation des films a été faite ultérieurement par visionnage et comptage par un opérateur. L'exploitation est relativement longue, elle a demandé plusieurs heures.

La présence de camions sur certaines files empêchent de voir certains véhicules adjacents. Le carrefour était de grandes dimensions ce qui amplifie le problème.

La détermination de la couleur des feux est parfois difficile du fait de l'orientation des rayons du soleil.

De ce fait, l'analyse quantitative et qualitative n'a pas donné les résultats escomptés.

Conclusion

La plus-value de cette méthode est de pouvoir conserver une trace du fonctionnement notamment dans le cadre de l'analyse qualitative. Mais, elle n'est pas forcément plus simple en mettre en place, ni moins consommatrice de temps, ni plus efficace en terme de comptages qu'un comptage manuel effectué sur le terrain.

3.3.2.2 Méthode par comptage manuel

Les comptages sont réalisés manuellement à l'heure de pointe du matin.

La durée de vert du feu est mesurée ainsi que le type et le nombre de véhicules passant durant ce temps pour la détermination du débit de saturation.

Le nombre de véhicules passant par tranche de dix secondes est mesuré pour déterminer la variation du débit en fonction de la durée du vert.

Pour les mouvements tournants, le nombre de véhicules sera compté et le temps de vert mesuré tant qu'il y aura des véhicules effectuant ce mouvement.

Des éléments qualitatifs sont notés

- arrivée irrégulière et peu importante de véhicules
- saturation du carrefour en aval

- stockage tourne à gauche
- piétons traversant
- autre, ...

Choix des carrefours

Les carrefours étudiés doivent répondre à un certain nombre de critères :

- fonctionnement en « charge du carrefour » : le nombre de véhicules arrivant sur la branche à étudier doit être important et relativement constant sans coupure dans l'écoulement. Ce critère a été apprécié par la connaissance du territoire et la consultation des trafics à l'heure de pointe (google maps).
- Le fonctionnement du carrefour ne doit pas être perturbé à l'aval (saturation) afin de ne pas gêner l'écoulement.
- fonctionnement simple : pas de carrefours au fonctionnement complexe ou acycliques.
- environnement : dans cette première approche, les carrefours sur voies étroites, présentant des contraintes géométriques marquées, de revêtements particuliers n'ont pas été retenus.
- Pour mesurer l'influence de la durée de vert, les carrefours choisis ont la plupart un temps de vert long afin de détecter si le débit de saturation diminue au bout d'une certaine durée du vert

Réalisation des comptages

Les comptages manuels nécessitent la présence d'une personne par branche, voir deux dans le cas de la mesure du débit par tranche de dix secondes.

Malgré une visite préalable, il s'est avéré sur certains carrefours que le nombre de véhicules empruntant la branche était faible et ne permettait pas de déterminer un débit de saturation.

Les arrivées en fin de cycles n'étaient pas toujours régulières. De plus, des événements ont lieu pendant certains cycles (blocage du carrefour en aval, démarrage très tardif, passage de véhicules de secours et de la balayeuse,..) qui diminuent la capacité du carrefour.

Une partie de la congestion en ville provient de ces événements.

Nos expérimentations ont montré que le nombre de cycles impactés par heure et les motifs sont variables selon les carrefours :

carrefour	Nombre de cycles impactés /nombre de cycles mesurés	Événements
De Lattre de Tasigny	9/25	Blocage aval
Max Juvénal	4/39	Véhicules lents (bus tournants, autres), démarrage tardif
Galice	2/30	Gêne , tourne à gauche

Le nombre de cycles exploitables est inférieur à celui attendu.

3.3.2.3 Enseignements tirés

Les seuls comptages ne suffisent pas, il faut des éléments plus qualitatifs sur :

- l'arrivée des véhicules
- les problèmes ponctuels qui peuvent limiter le débit ,...

Il faut un nombre de cycles important car une partie seulement des cycles est exploitable.

Le choix du carrefour est primordial en fonction du paramètre à étudier.

Le calcul du débit de saturation n'est pertinent que s'il y a un trafic assez important, le nombre de PL et de deux roues motorisés doit être important pour voir leur influence sur le débit de saturation.

L'environnement du carrefour doit-être pris en compte : environnement urbain immédiat et fonctionnement du carrefour dans le réseau urbain.

La connaissance du terrain et un repérage préalable sont nécessaires.

La méthodologie doit-être adaptée au paramètre étudié et au site.

Quelle que soit la méthode (par enregistrement vidéo ou comptage manuel), les principes ci-dessus (éléments qualitatifs, choix du carrefour, reconnaissance du terrain) restent valables. Le comptage manuel est bien adapté lorsque la période d'étude est courte (quelques heures de pointes). L'enregistrement vidéo peut s'avérer très intéressant pour des périodes d'études plus longues. Il convient de s'assurer que les prises de vues permettent une bonne exploitation et de ne pas négliger le temps d'exploitation de ces vidéos.

3.3.3 Mesures « in situ »

3.3.3.1 Mesure du débit de saturation moyen

L'analyse des comptages détaillée se trouve dans l'annexe 4.

Carrefour Turcan/ Rayettes : comptages réalisés par méthode vidéo

Caractéristiques du carrefour :

- voies larges, vitesse d'approche élevée (sortie de l'autoroute A55), carrefour large, bonne visibilité, environnement urbain d'entrée de ville, circulation sur deux files

-fonctionnement complexe avec la mise en place de feux « jaune » clignotants pour les tourne à droite, en 4 phases, durée de vert très réduites pour les piétons (6 secondes minimum réglementaire).

Ce carrefour n'a pas un aménagement de type urbain.

A : avenue de Turcan sens A55 vers Martigues

B : avenue Moulin de France

D : avenue Rayettes

C : avenue de Turcan Martigues vers A55



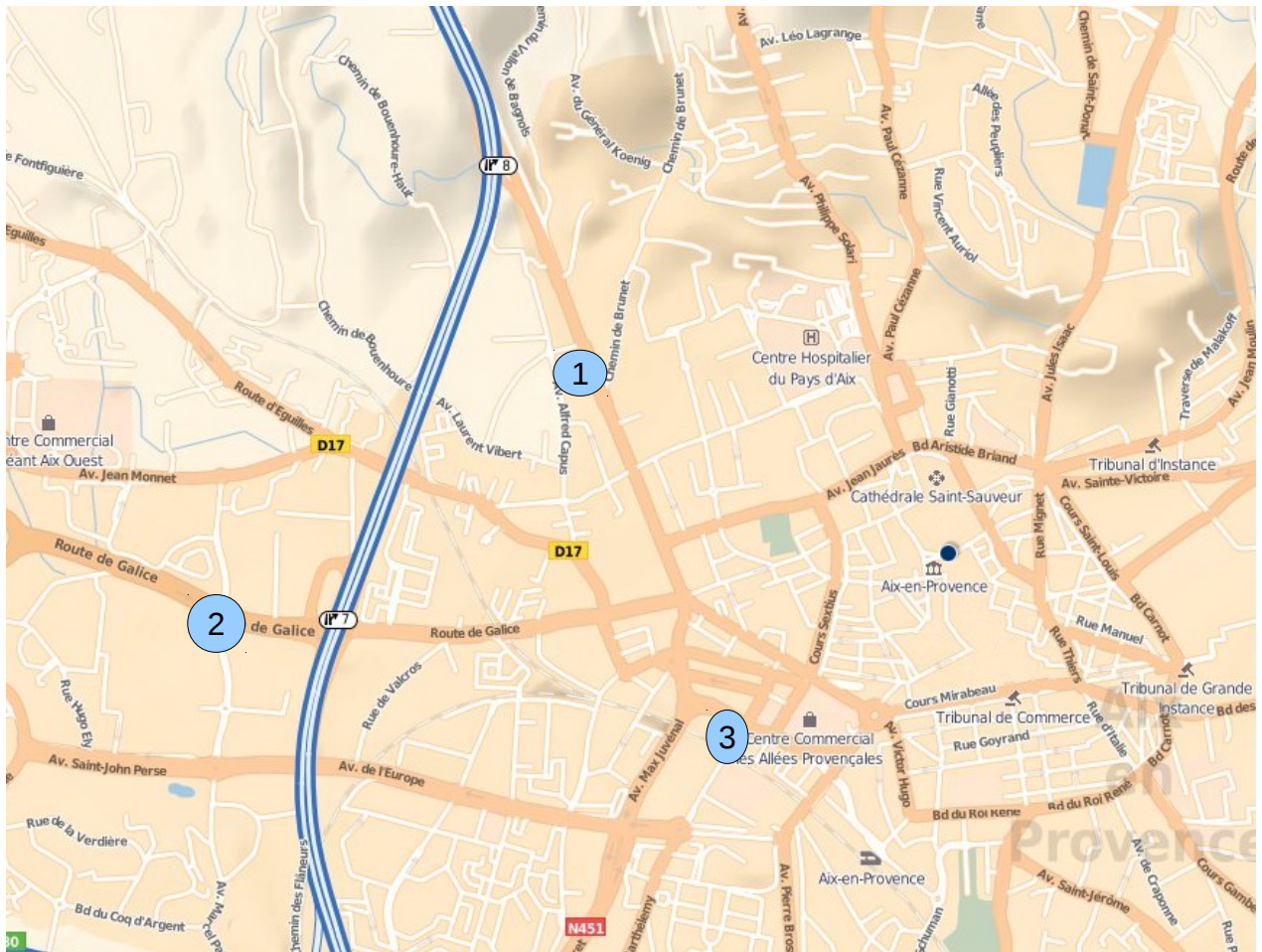
Une seule branche (sens Martigues centre vers A55) a pu être exploitée et ce sur un nombre de cycle très faibles.

Temps de vert	25s	
Durée du cycle en s	76	
Nombre de cycles exploités	10	
Débit de saturation veh/h	1540	Écart type : 201
Débit de saturation en uvp/h	1550	Écart type : 204
Nombre moyen de véhicule par file franchissant le feu durant le vert	10,5	Écart type : 1,4

Pour les carrefours suivants, les résultats sont issus de comptages manuels.

Carte des carrefours étudiés à Aix en Provence

- 1 Carrefour De Lattre de Tassigny/Brunet
- 2 Carrefour Route de Galice / avenue Marcel Pagnol
- 3 Carrefour Avenue max Juvénal devant le Grand Théâtre de Provence



Carrefour De Lattre de Tassigny/Brunet

Caractéristiques du carrefour :

Le carrefour est en zone urbaine dense.

Les mesures sont effectuées sur la branche en provenance de l'autoroute A51 en direction du centre-ville d'Aix, la circulation se fait sur une voie, en pente faible.



Temps de vert « utile » où l'arrivée des véhicules était régulière	30s	
Durée du cycle	70 à 90 s	
Nombre de cycles exploités	15	
Débit de saturation veh/h	1300	Écart type : 240
Nombre moyen de véhicule franchissant le feu durant le vert	10,8	Écart type : 2

Carrefour Route de Galice / avenue Marcel Pagnol

Le carrefour se trouve sur une section à 2*2 voies, en entrée de ville. Les voies sont larges. L'environnement autour du carrefour est de type urbain peu dense. Les mesures ont été effectuées sur la branche en direction du centre-ville d'Aix en Provence sur les 2 voies. Les comptages ont été réalisés 2 matins à l'heure de pointe.



Débit de saturation

	Temps de vert	33 s	
	Durée du cycle	100 s	
Voie de droite	Débit Q veh/h	1650	écart type:271
	Débit Quvpv/h	1820	écart type:222
	Nb de cycles exploités	66	
Voie de gauche	Débit Q veh/h	1790	écart type:199
	Débit uvp/h	1840	écart type:199
	Nb de cycles exploités	66	
Toutes voies	Débit Q veh/h	1720	
	Débit Quvp/h avec coef	1830	

Nombre moyen de véhicules franchissant le feu pendant le vert

voie		moyenne	Écart type
Droite	Nombre de véhicules	15,2	2,5
	uvp	16,7	2,0
Gauche	Nombre de véhicules	16,4	1,8
	uvp	16,9	1,8
Toutes voies	Nombre de véhicules	15,8	2,3
	uvp	16,8	1,9

Carrefour Avenue max Juvénal devant le Grand Théâtre de Provence

Le carrefour se trouve près du centre-ville. Il est situé après un giratoire ce qui entraîne des vitesses d'approche faible. Le feu se trouve sur une rampe avec un % élevé. L'environnement urbain est marqué.

La section est à 2*2 voies. Les mesures sont effectuées sur la branche en provenance du giratoire et en direction du centre d'Aix. Pour la voie de droite, le tourne à droite est permis et peut faire baisser le débit de cette voie, le tourne à gauche est lui interdit.

Le taux de PL est 2,6% pour la voie de droite et de moins de 1% pour la voie de gauche.



	Temps de vert « utile » où l'arrivée des véhicules était régulière	30 s	
	Durée du cycle	100 s	
Voie de droite	Débit Q veh/h	1220	écart type:159
	Débit Quvp/h	1260	écart type:156
	Nb de cycles exploités	36	
Voie de gauche	Débit Q veh/h	1160	écart type:161
	Débit Quvp/h	1170	écart type:166
	Nb de cycles exploités	29	
Toutes voies	Débit Q veh/h	1190	
	Débit Quvp/h	1220	

Nombre moyen de véhicules franchissant le feu pendant le vert

voie		moyenne	Écart type
Droite	Nombre de véhicules	10,2	1,3
	uvp	10,5	1,3
Gauche	Nombre de véhicules	9,7	1,3
	uvp	9,8	1,4
Toutes voies	Nombre de véhicules	9,9	1,4
	uvp	10,1	1,4

Conclusions

Type de carrefour	Ordre de grandeur du débit de saturation veh/h
Environnement urbain peu marqué, voies larges bonne visibilité, vitesse 50 km/h	1800
Environnement urbain marqué, bonne visibilité, vitesse 50km/h	1300
Environnement urbain marqué, vitesse d'approche faible, pente	1200

L'expérimentation confirme les valeurs annoncées par les gestionnaires.

La valeur de 1800 veh/h est une valeur haute du débit de saturation qui n'est pas forcément atteinte dans tous les carrefours.

Il existe des cas où cette valeur est supérieure (2000 veh/h) lorsque l'écoulement est très aisé.

La présence de contraintes à l'écoulement des véhicules qu'elles soient de nature géométrique, liées à l'environnement (entraînant des variations de comportements) ou liées au fonctionnement du carrefour diminue le débit de saturation.

Cette valeur de référence nécessite d'être adaptée à chaque situation. L'utilisation d'un débit de saturation non réaliste peut conduire à des dysfonctionnements du carrefour.

Il est nécessaire de confirmer ces résultats par l'étude de plusieurs carrefours en définissant des grandes typologies de carrefour en fonction des paramètres qui semblent les plus impactant sur le débit : l'environnement plus ou moins urbain, la géométrie et la vitesse d'approche plus ou moins contraintes,...

Remarque :

Le débit en uvp est calculé en considérant que le nombre de véhicules qui franchit le feu pendant la durée du vert est égal au nombre de véhicule pondéré par les coefficients donnés dans le guide de conception.

L'application des coefficients véhicules augmente mathématiquement le débit en uvp des carrefours. En effet, le nombre de deux roues sur ces carrefours est très faible (quelques deux roues par heure d'analyse) et est inférieur au nombre de poids lourds. En appliquant le coefficient $1PL=2VL$, le nombre de véhicules en uvp augmente.

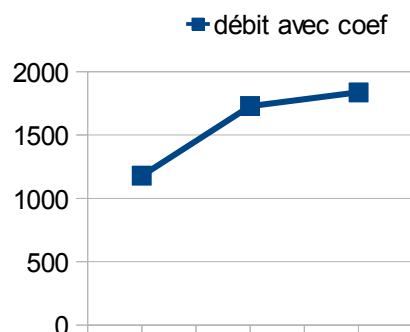
Le carrefour avenue de Galice présente un trafic poids lourds important. Une étude spécifique sur le coefficient poids lourds a pu être faite sur ce site. Elle se trouve au 3.3.3.3.

3.3.3.2 Influence de la durée du vert sur le débit de saturation

Carrefour Turcan/Rayette

mesure effectuée entre 0 et 10 s de vert : Q1
 mesure effectuée entre 10 et 20s de vert : Q2
 mesure effectuée en fin de vert : Q3 (environ 5s)

	débit sans tenir compte des coefficients véhicules	débit en tenant compte des coefficients véhicules
moyenne Q1	1170	1179
moyenne Q2	1728	1728
moyenne Q3	1800	1836



Le débit est plus faible les 10 premières secondes conformément à la bibliographie. La durée du feu vert de 25 secondes, trop courte, ne permet pas de conclure sur l'évolution du débit sur des feux verts très longs.

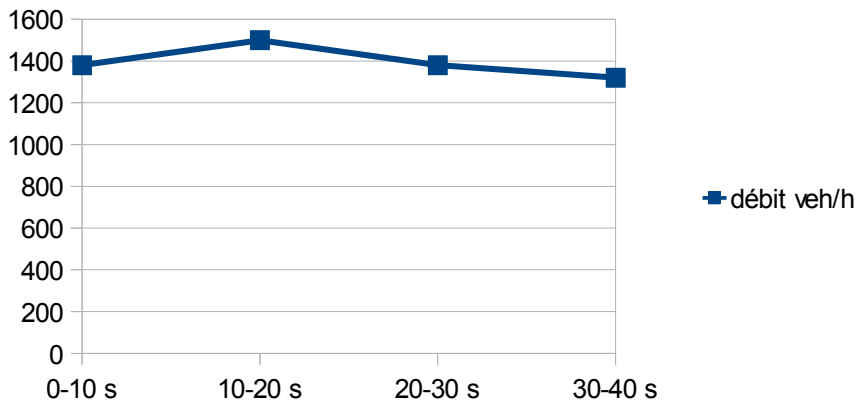
Carrefour De Lattre de Tassigny/Brunet

Le débit dans les 10 premières secondes est très variable car il dépend fortement du départ du premier véhicule.

Le nombre de cycles où l'arrivée des véhicules était suffisamment importante jusqu'à 40 secondes est très faible (6).

tranche	0-10s	10-20s	20-30s
moyenne	1170 veh/h	1253 veh/h	1368 veh/h
Écart type	428 veh/h	297 veh/h	251 veh/h
Nb moyen de véhicule franchissant le feu par tranche de vert	3,2	3,5	3,1
Écart type	1,2	1,0	1,5
Nombre de cycles exploités	24	25	22

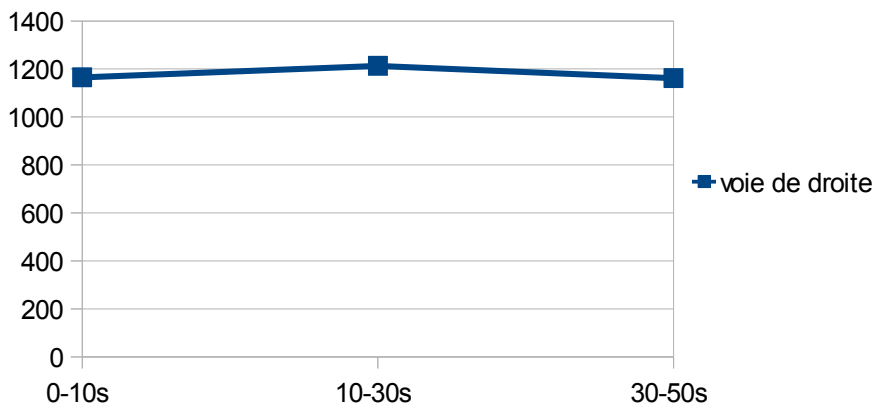
La tendance ci-dessous est issu des 6 cycles n'ayant pas présentés de dysfonctionnement et une arrivée suffisante de véhicules jusqu'à 40 secondes.



Carrefour Avenue max Juvénal devant le Grand Théâtre de Provence

Compte tenu du faible nombre de véhicules passant toutes les 10 secondes, l'incertitude sur la détermination du débit de saturation est importante (cf.annexe). Dans ce cas, il a été choisit de calculer le débit entre 0 et 10 secondes puis les débit par tranche de 20 secondes.

		0-10 s	10-30s	30-50s
Voie de droite	Débit Q veh/h	1165 écart type:270	1213 écart type:270	1162 écart type:270
	Débit Qveh/h avec coef	1175 écart type:274	1260 écart type:268	1195 écart type:270
	Nb de cycles exploités	39	39	20
Voie de gauche	Débit Q veh/h	1251 écart type:274	1174 écart type:188	Non exploitable
	Débit veh/h avec coef	1269 écart type:261	1181 écart type:268	
	Nb de cycles exploités	39	25	



Nombre moyen de véhicules franchissant le feu pendant les tranches de vert

		0-10 s	10-30s	30-50s
Voie de droite	Nombre de véhicules	3,2 écart type: 1,0	6,7 écart type:1,5	6,6 écart type:1,0
	uvp	3,3 écart type:1,0	7,0 écart type:1,5	6,7 écart type:1,0
	Nb de cycles exploités	39	39	20
Voie de gauche	Nombre de véhicules	3,5 écart type:1,0	6,5 écart type:1,0	Non exploitable
	uvp	3,5 écart type:1,0	6,6 écart type:1,0	
	Nb de cycles exploités	39	25	

Conclusions

Le débit est plus faible les dix premières secondes conformément à la bibliographie.

Les phases très courtes, moins de 10 secondes, ont donc un débit de saturation inférieur à 1800 veh/h. Ce type de phase se retrouve en particulier dans les stratégies mises en œuvre pour le respect de la règle des 120 secondes. La pertinence, l'acceptabilité et les impacts de sécurité de ces phases courtes sont à étudier.

Il n'est pas possible de conclure sur l'influence de la durée des phases de vert longues sur le débit de saturation car la dispersion des valeurs de débit de saturation selon les cycles est importante. La variation du débit en fonction du temps est probablement peu importante vis à vis de cette dispersion.

Un débit plus faible en fin de cycle peut s'expliquer par une arrivée moins importante de véhicules. Très peu de cycles ont pu être exploités car la durée du vert est plus importante que la demande capacitaire de la branche. Les temps de vert longs ne sont pas toujours justifiés en terme de capacité.

Le débit plus faible peut s'expliquer également par la présence en aval d'un autre carrefour à feu ; la vitesse de passage des derniers véhicules baisse car ils anticipent leur arrêt dans la file d'attente du prochain feu.

Il ne semble pas pertinent de poursuivre des investigations sur la variation du débit de saturation pour des durées de vert longues au vue des premières expérimentations. En effet, en zone urbaine, il est très rare de trouver des carrefours ou la demande est importante durant toute la durée d'un cycle long.

En revanche, cette problématique peut se rencontrer lorsque le carrefour est isolé et la demande de circulation sur la voie très importante. La capacité du carrefour ne permet pas d'absorber la demande à chaque cycle et une longue file d'attente se forme (entrée de ville à certaine heure par exemple).

3.3.3.3 Influence des poids lourds sur le débit de saturation

Carrefour de Galice/Pagnol

Le taux de PL sur la voie de droite est de 11% et sur la voie de gauche de 3% .

L'objectif est de calculer un coefficient pour les PL transformant les comptages en uvp.

Le nombre de cycles exploité est de 132.

Le tableau ci-dessous indique le nombre moyen de VL franchissant la ligne de feu pendant la durée de vert en fonction du nombre de PL.

Nombre de PL	0	1	2	3	4
Nombre moyen de VL	16,69	15,03	13,09	10,64	6,67
Nb de cycles	50	39	21	14	3
Coefficients poids lourds		1,7	1,8	2	2,5

Le débit de saturation du carrefour en l'absence de PL est donc de 1820veh/h.
Le coefficient poids lourds s'échelonne entre 1,7 (cycle comportant 1 PL) et 2,5 (cycle comportant 4PL).

Conclusion

L'analyse sur ce carrefour conduit à un coefficient poids lourds compris entre 1,7 et 2,5. Dans le guide de conception des carrefours à feux, le coefficient est d'1PL=2VL. Cette valeur doit être confirmée sur d'autres carrefours et dans des configurations plus contraignantes pour les poids lourds (pente importante, voies étroites,...). L'objectif est, comme pour la valeur du débit de saturation, de déterminer une fourchette de valeurs en fonction de la configuration du carrefour et du niveau de trafic PL.

3.3.3.4 Mouvements tournants

Carrefour Galice/Pagnol et carrefour bretelle de sortie l'A51/ route de Galice.

Pour ces deux mouvements, la voie tourne à droite est dédiée. Le rayon de giration est estimé à 20 m pour le premier et 25 m pour le second.

Pour la bretelle de sortie de l'A51, il n'y a aucun mouvement antagoniste.

Pour le carrefour Galice/Pagnol, le mouvement de tourne à droite est prioritaire sur le mouvement de tourne à gauche de la branche opposée

Les carrefours choisis ne présentent pas de contraintes géométriques particulières (rayon de giration confortable, voies larges, bonne visibilité).

L'environnement du carrefour est de type urbain peu marqué, il est situé en entrée de ville.

Le débit de saturation de la voie de tourne à droite est déterminé en ne tenant compte que de la durée de vert où l'arrivée des voitures effectuant ce mouvement est suffisante.

Le coefficient uvpd est calculé en faisant le rapport du débit de saturation théorique (1800 veh/h) sur le débit de saturation du mouvement tourne-à-droite calculé avec les coefficients véhicules.

Carrefour Galice /Pagnol

	Q veh/h tourne à droite	Q uvp/h tourne à droite (avec coefficients uvp)
moyenne	1300	1360
Écart type	240	230
Nb de valeurs exploitées	33	33

Le débit de saturation sur la branche principale de ce carrefour est d'environ 1800veh/H (cf 3.3.3.1)

Il est possible de calculer théoriquement un coefficient de tourne à droite en faisant le rapport des 2 débits trouvés.

Sur ce carrefour, le coefficient obtenu est de l'ordre de 1,3.

Bretelle de sortie A51 vers Aix en Provence

	Q veh/h tourne à droite	Q uvp/h tourne à droite (avec coefficients uvp)
moyenne	1480	1430
Écart type	170	160
Nb de valeurs exploitées	22	22

Le débit de saturation de ce type de carrefour peut être pris égal à 1800v eh/H.

Il est possible de calculer théoriquement un coefficient de tourne à droite en faisant le rapport des 2 débits.

Sur ce carrefour, le coefficient obtenu est de l'ordre de 1,3.

Conclusion

Le coefficient d'un mouvement tournant est ici d'environ 1,3 pour des mouvements de giration peu contraints (rayon de giration peu important, bonne visibilité). La valeur indiquée dans le guide (1,1) semble donc optimiste par rapport à celle déterminée in situ.

L'observation des comportements des automobilistes montrent qu'il y a souvent une prise d'information visuelle à gauche et un ralentissement au passage de la ligne de feux même en l'absence de mouvement antagoniste. Ceci, outre les contraintes liées à la giration, expliquerait la diminution du débit de saturation.

Cette différence de valeurs doit-être confirmée sur d'autres carrefours et dans des configurations plus contraignantes (rayon de giration, voies étroites,..).

4 Conclusion et perspectives

4.1 Conception des carrefours

Les comptages sur quelques carrefours permettent de tirer les enseignements suivants :

- Le débit de saturation de 1800 veh/h est atteignable pour les carrefours dans les zones urbaines peu denses où les voies de circulation sont relativement larges.
- Le débit de saturation moyen varie selon la configuration du carrefour. Un environnement plus urbain peut faire baisser le débit à 1300 veh/h, voire à 1200 veh/h
- Le débit de saturation est plus faible pendant les 10 premières secondes. La valeur de référence doit-être adaptée pour les cycles courts.

Les résultats sont en cohérence avec les valeurs annoncées dans les interviews.

- Le coefficient poids lourds déterminé in situ est de l'ordre de celui utilisé dans le dans le guide, $1PL = 2VL$. Il doit être confirmé par d'autres mesures dans des conditions plus défavorables pour les poids lourds.
- Le coefficient pour tenir compte des mouvements tournants déterminé in situ 1,3 diffère de celui utilisé dans le dans le guide, 1,1.

L'ensemble de ces éléments indique que les valeurs du guide de conception sont des valeurs à utiliser dans des cas favorables. L'application stricte de ces valeurs peuvent conduire à une capacité sur-évaluée des carrefours et peut entraîner des dysfonctionnements.

L'utilisation de ces valeurs dans des cas plus contraints doit être adaptée en tenant compte à la fois des contraintes géométriques (largeur de voies, rayon de courbures, pente,..), de l'environnement plus ou moins urbain et du fonctionnement du carrefour.

Les fourchettes des valeurs à utiliser pour concevoir les carrefours peuvent être assez larges. Il semble nécessaire de donner au concepteur plus d'éléments pour mieux choisir la valeur de ces paramètres.

L'ensemble de ces premières conclusions est à confirmer par d'autres comptages.

De nombreux carrefours fonctionnent en système régulé, il serait important de savoir si les algorithmes de régulation prennent ces valeurs comme hypothèses.

L'optimisation du fonctionnement des carrefours pour améliorer la fluidité nécessite une meilleure connaissance de ces valeurs.

L'influence de la durée du vert sur le débit de saturation n'a pas pu être mise en évidence.

Il est apparu que la durée des temps de vert longs ne correspondait pas forcément à la demande. Les temps de verts longs ont l'inconvénient de réduire la durée de vert disponible pour les autres flux et notamment entraînent des temps d'attente piétons longs et des phases piétonnes courtes (cas du carrefour Turcan/Rayettes). Ceci peut poser des problèmes en terme d'acceptabilité et de sécurité.

4.2 Stratégie de gestion des feux

Il est apparu dans les entretiens avec les gestionnaires que la conception des carrefours routiers en terme de capacité des flux routiers n'est plus l'unique enjeu alors que le guide de conception ne tient compte que de cet élément.

En 2015, nous souhaitons interroger les gestionnaires sur leurs politiques de gestion des carrefours à feux :

- priorisation des transports en communs : connaître les hypothèses prises en compte (temps de dégagement, temps perdus,...) et vérifier si elles sont réalistes
- prise en compte des différents modes et en particulier des piétons
- fluidification de certains itinéraires : ondes vertes, ..

et les moyens mis en œuvre pour y parvenir : utilisation de logiciel de régulation, boucle de régulation,...

Dans le cas de l'utilisation de logiciel de régulation, on peut s'interroger sur les hypothèses de base de calcul en relation avec les valeurs indiquées dans le guide de conception.

4.3 Acceptabilité et sécurité

La prise en compte de l'ensemble des modes conduit à s'interroger sur le fonctionnement de certains carrefours en terme d'acceptabilité et de sécurité à savoir :

- **les carrefours au fonctionnement acyclique**
- **les carrefours aux temps de vert très longs, problématique des 120 secondes**
- **les phases très courtes**

La démarche proposée serait de :

- recenser quelques carrefours
- vérifier s'ils présentent des dysfonctionnements
- vérifier s'ils posent des problèmes de sécurité
- observer le comportement des usagers sur le site
- questionner les usagers sur leur compréhension et leur comportement

Bibliographie

Textes Réglementaires

- Instruction Interministérielle de la Signalisation Routière, 6ème partie feux de circulation permanents

Guides et Etudes

- guide conception des carrefours à feux, Certu, 2010
- Highway Capacity Manual , 2010
- Etude ZELT 2001 « Franchissement aux feux dans certains carrefours de Toulouse »
- Analyse des franchissements aux feux rouges dans l'agglomération nantaise 2010, CETE de l'Ouest
- Facteurs perceptifs dans la décision de traversée de rue : une étude de laboratoire, L Désiré , ERA 33, LR Saint-Brieuc CETE de l'ouest
- The real-time urban trafic control system Cronos algoritm and experiments, F Boillot , 2006, INRETS
- Améliorations des conditions de circulation dans le secteur du tunnel de l'A500 en direction de la principauté de Monaco phase 1 Etude statique juin 2013 simulation dynamique octobre 2013 MVA Consulting
- La priorité aux feux pour les véhicules de Transport en commun, CERTU, 2001
- Extrait étude Normandie-Centre sur les franchissements au rouge

Articles

- Association of Selected **Intersection Factors With Red-Light-Running Crashes**, Highway Research Center, Virginia, USA, 2000
- *Investigation of Red Light Running Factors*, University of Florida, USA, 2004
- *Making intersections safer – A toolbox of engineering countermeasures to reduce red-light running*, Institute of transportation engineers, USA, 2003
- *Reducing Red Light Running Through Longer Yellow Signal Timing and Red Light Camera Enforcement: Results of a Field Investigation*, Insurance institute for highway safety, USA, 2007
- Revisiting the Cycle Length - Lost Time Question With Critical Lane Analysis, Purdue University, USA, 2012
- Perception waiting time at signalized intersections, Department of civil engineering, University of Minnesota
- Traffic flow at signalized intersections,
- Canadian capacity guide for signalized intersection 02/2008
- Comparison of saturation Flow rates at signalized Intersections, Robert W.Stokes ,

1988

- Alternative to the use of saturation flow rate for analysis of signalized intersections
Pin-Yi TSENG, Feng-Bor Lin, 2003

Ressources Internet

- <http://docinsa.insa-lyon.fr/these/2003/bourrel/chapitre6.pdf>
- <http://www.caradisiac.com/Enquete-MMA-le-comportement-des-cyclistes-parisiens-a-la-loupe-2095.htm>
- http://certu.info/cdrom/cd-FSR2011/diaporamas/FSR_20110404_Etude%20Prospective_ProchassonMaestracciLouvet_FormatDiffusable.pdf
- <http://www.marseille-circulation.fr/documents/fonctionnement.pdf>
- http://www.iutcs.fr/IMG/pdf/Marcien-Lagarde-Simudynamique-ATEC-2013_cle85eaec.pdf

Personnes contactées

- BOILLOT Florence IFSTTAR (LCPC / COSYS)
- MIDENET Sophie IFSTTAR (LCPC / COSYS)
- GREGOIRE Daniel , CETE de l'Ouest
- BRENAC Thierry IFSTTAR/TS2
- AUBERLET Jean-Michel IFSTTAR
- GRANIER Marie-Axelle IFSTTAR
- FLAGEUL Julien/PROCHASSON François ville de Paris

Tables des annexes

Annexe 1 : note de cadrage de l'étude

Annexe 2 : tableau de synthèse des données recueillies lors des entretiens avec les gestionnaires

Annexe 3 : exploitation des données de comptages fournies par Paris

Annexe 4 : exploitation des premières expérimentations

Annexe 1 : Note de cadrage de l'étude

Le rapport rendu devra répondre aux questions énoncées précédemment et rappelées ci-après :

- (Q1) Le temps perdu au démarrage est-il indépendant du réglage des feux ?
- (Q2) Le débit de saturation est-il indépendant du réglage des feux ?
- (Q3) La diminution de rendement des verts longs est-elle réellement observée ?
- (Q4) La formule de calcul de la capacité est-elle trop simple, ou son domaine doit-il être mieux précisé ?
- (Q5) Peut-on regarder de plus près la question de la distribution de nombre de TAG par cycle, ainsi que les risques d'auto-blocage ?
- (Q6) Peut-on explorer le problème du stockage aux feux, explorer notamment la distribution des variations des files d'attente surtout lorsqu'on est dans un réseau régulé ?
- (Q7) Peut-t-on définir une méthode « simple » pour calculer les temps d'attentes, les longueurs des files d'attentes, le nombre d'arrêts aux feux pour les carrefours à phase spéciale VTC sur appel.
- (Q8) Comment est perçu le vert mini par les usagers ?
- (Q9) Fréquence du problème de dépassement des 120 secondes en France ? Quelles sont les villes à tramway où il n'y a pas de problème de dépassement des 120 secondes, comment font les maîtres d'ouvrage ?
- (Q10) Comment sont perçus les temps d'attente par les usagers et notamment les piétons ? Il y a-t-il des modèles ? L'approche temps maximum est-elle pertinente ?
- (Q11) Les temps d'attente trop longs peuvent-ils être perçus comme des pannes, que dit la jurisprudence à ce propos ?
- (Q12) Un fonctionnement acyclique des feux modifie-t-il la perception de l'attente aux feux ?
- (Q13) Quelle est l'influence de la durée de vert sur la vitesse des véhicules et les franchissements de rouge ?
- (Q14) Quelle est l'influence de la durée de rouge sur les franchissements de rouge et notamment l'anticipation du vert ?
- (Q15) Quelle est l'influence de fonctionnement acyclique sur les vitesses et les franchissements de rouge ?

Annexe 2

Tableau de synthèse des données recueillies

Pour certaines agglomérations, il n'y a pas d'information car le questionnement sur le débit de saturation est apparu après les premiers entretiens.

Ville/ Agglomération	Taille de l'agglomération (nb d'hab)	région	Stratégie de gestion des carrefours à feux	Valeur du débit de saturation
Angers	270 000	Pays de Loire	Calcul confié aux bureaux d'études	
Bordeaux	720 000	Aquitaine	Carrefours à feux gérés par le logiciel Gertrude temps de cycles de 60s à 100s cycle le plus court possible	valeur du débit de saturation : 1800 veh/h
Brest	210 000	Bretagne	Carrefour avec microrégulation Cycle le plus court possible	
Caen	220 000	Normandie	Pas d'information	
CG 92 (Hauts de Seine)	1 580 000	Île de France	Cycles courts pour un meilleur respect (auto et piétons)	valeur du débit de saturation : 1700 veh/h zone ouest du département (boisé et résidentielle), 2000 zone urbaine et interurbaine dense Comptages in situ pour mesurer la valeur réelle
CG 93 (Seine Saint Denis)	1 530 000	Île-de-France		Débit de saturation : 2000 veh/h axe important, petites rues avec stationnement, 1800 veh/h
CG 94 Val de Marne	1 330 000	Île-de-France	Pas d'information	
Clermont-Ferrand	290 000	Auvergne	Pas d'information	
Dijon	250 000	Bourgogne	Régulation en temps réel cycles les plus courts possibles et les plus simples	
Douai	200 000	Nord Pas de Calais	Pas d'information	
Grenoble	410 000	Rhône Alpes		Valeur du débit de saturation : 1800 veh/h correspond à la réalité cette valeur doit-être ajustée dans des cas particuliers
Le Havre	240 000	Normandie		Valeur du débit de saturation : 1800 veh/h réaliste hors agglomération 1500 veh/ h en urbain peut descendre à 1200 veh/h
Le Mans	190 000	Pays de Loire	Carrefours à feux gérés par le logiciel Gertrude	Valeur du débit de saturation : 1500 veh/h utilise d'ancienne méthode (SETRA 1973)

Lille	1 130 000	Nord Pas de Calais	Pas d'information	
Lyon	1 300 000	Rhône Alpes	Stratégie : raccourcir les cycles :75 s en heure de pointe et 90s pour les carrefours complexes (pour favoriser les déplacements piétons et vélos) micro régulation	en situation de saturation : 1200 veh/h
Marseille	1 050 000	PACA	Carrefours cycles de 80 à 100 s	Les bureaux d'études utilisent 1800 pour une voie et 3000 pour 2 voies Cette valeur est valable pour un carrefour ponctuel ou une bretelle de sortie Carrefours urbains dans un système avec gêne sur l'axe: 900 veh/h
Metz	220 000	Lorraine	Logiciel Gertrude	1800 veh/h pour les études théoriques valeur réaliste en périphérie en zone urbaine dense : 1600 veh/h
Montpellier	420 000	Languedoc Roussillon	Logiciel Gertrude	Calcul basé sur 1800 veh/h
Mulhouse	260 000	Alsace	Temps de cycles de 70s en heures creuses à 90s en heure de pointe	1800 veh /h réaliste sur les axes roulants 1600 veh/h plus proche de la réalité valeur vérifiées par mesure in situ
Nancy	260 000	Lorraine		Valeurs obtenues par comptages sur le terrain
Nantes	600 000	Pays de Loire	Carrefour à feux microrégulé temps de cycle 72s à 2 phases 90 s à 3 phases	
Nice	540 000	PACA	Pas d'information	
Nîmes	240 000	Languedoc Roussillon		Peu de voies atteignent 1800 veh/h Pour les voies les plus chargées : 1600 veh/h une interdistance faible entre les carrefours abaisse le débit
Orléans	280 000	Centre	Temps de cycles 90s	Valeur du logiciel 1800 veh/h
Paris			Durée du cycle 80s , exceptionnellement 90s	1800 veh/h utilisée habituellement débit sur voies rapides parisiennes 2200 veh/h le débit de saturation diffère en semaine et le dimanche
Reims	210 000	Champagne-Ardenne	Logiciel Gertrude	
Rouen	500 000	Normandie		1800 veh/h , les comptages par boucle confirment cette valeur
Saint Etienne	380 000	Rhône alpes	Carrefour gérés par microrégulation	1800 veh/h valeur utilisée à priori
Toulouse	920 000	Midi Pyrénées		1800 veh/h pas réaliste en centre urbain dense ; la valeur réelle est proche de 1600veh/h facteur influent le débit : le % de tourne à gauche

				Le débit augmenterait pour des temps de vert jusqu'au 20-30s. Il diminuerait ensuite car l'inter-distance augmenterait pour remonter au bout d'un certains temps car la vitesse des véhicules augmenterait.
Tours	300 000	Pays de Loire		Valeur du débit de saturation : 1600 veh/h
Valenciennes	350 000	Nord Pas de Calais		Pas d'info

Annexe 3 : Exploitation des données de comptages fournies par Paris

Débit sur une voie sans feu

Avant 2012, la Voie Georges Pompidou, axe de transit, était une voie de rapide avec 2 files de circulation sans feux. Les données fournies par la ville de Paris sont les débits horaires des deux files pour le mois de juin 2012.

Le débit maximal atteint par file sur l'axe est 1950 veh/h pour une vitesse maximale autorisée : 50 km/h.

Analyse des comptages sur les grands boulevards

Les comptages sont réalisés par des boucles situées à 80 m en amont des lignes de feux.

Débit sur un carrefour à une file de circulation

Les grands boulevard dans le sens Ouest-Est ne comporte qu'une file de circulation. Le temps de vert est de 55s, pour un cycle de 90s. Le plan de feux appliqué est toujours le même. Les données fournies par la ville de Paris sont les débits horaires de la voie de circulation pour le mois de juin 2013.

Le débit de saturation $Q = \text{débit horaire} * C / TV$

C : durée du cycle en s

TV : temps de vert en s

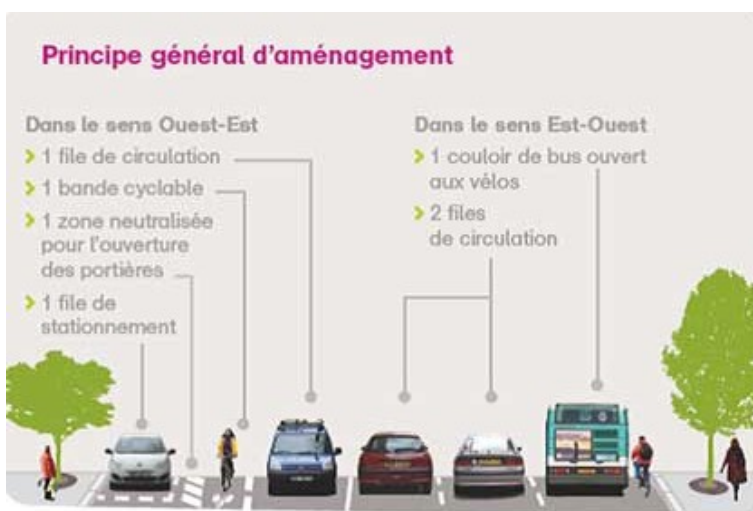
Le débit maximal mesuré sur cette voie de circulation est $Q_{max}: 1427 \text{ veh/h}$.

Débit sur un carrefour à deux files de circulation et temps de vert variable

Les grands boulevard dans le sens Est ouest comportent 2 voies de circulation.

Il y a différents plans de feux appliqués avec les valeurs suivantes :

- de 21H à 7H, la ligne de feux est à 23 s pour un cycle de 60 s
- de 7H à 12H, la ligne de feux est à 37 s pour un cycle de 90 s
- de 12H à 14H, la ligne de feux est à 26 s pour un cycle de 70 s
- de 14H à 21H, la ligne de feux est à 32 s pour un cycle de 90 s



Calcul du débit de saturation

Les données fournies par la ville de Paris sont les débits horaires des 2 voies de circulation pour le mois de juin 2013.

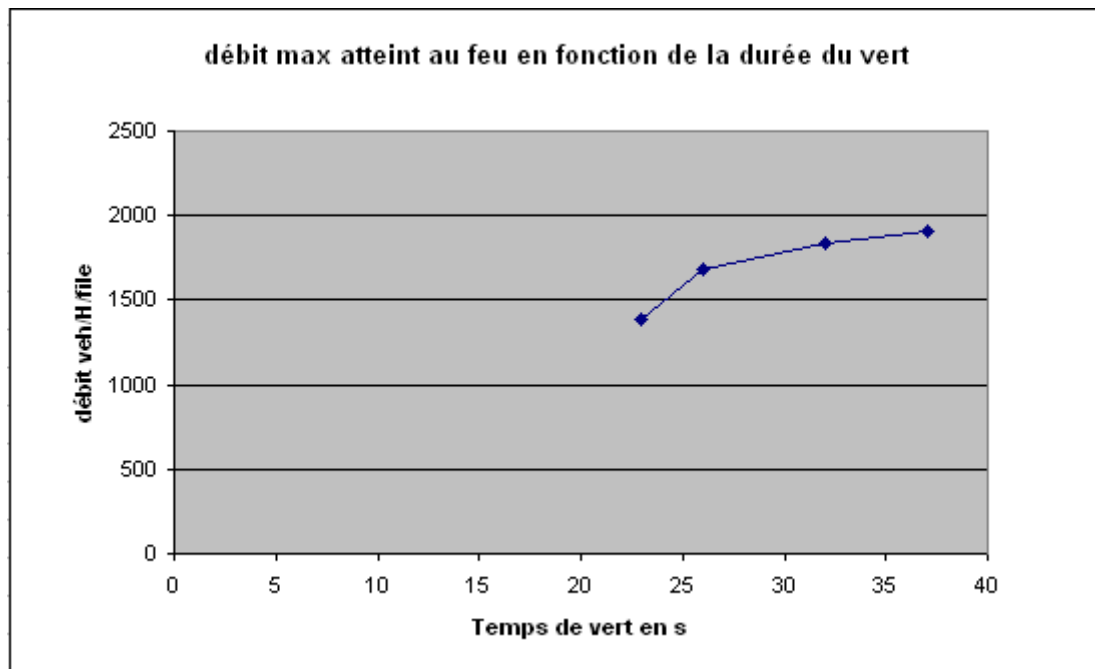
Le débit de saturation $Q = \text{débit horaire} / 2 * C / TV$

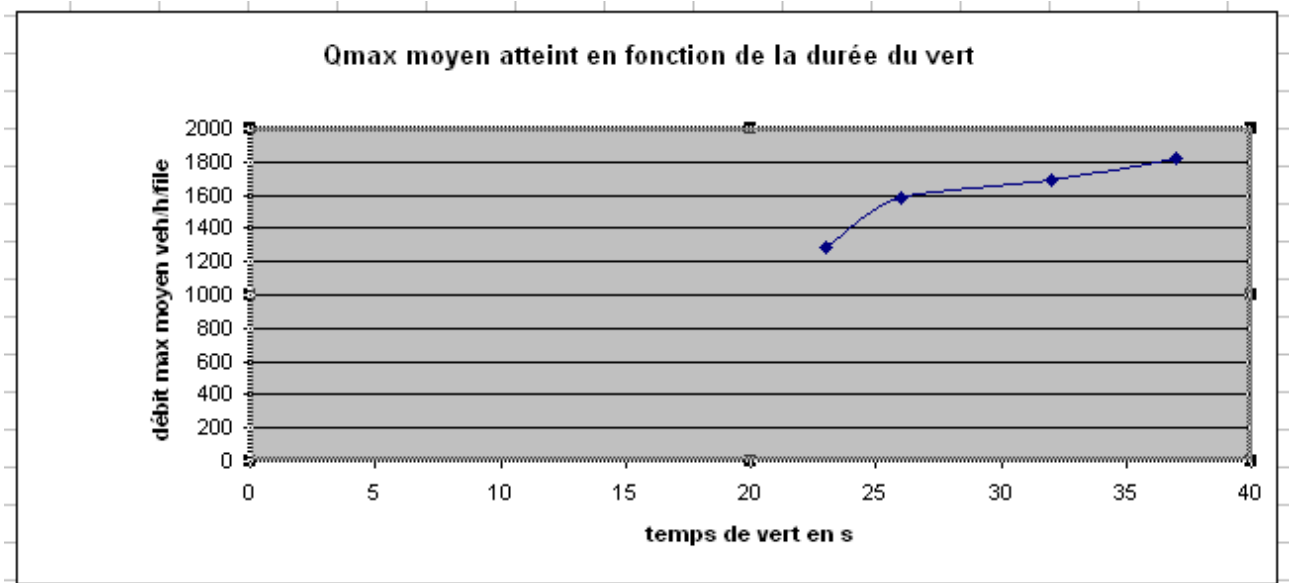
C : durée du cycle en s

TV : temps de vert en s

En fonction du temps de vert de la voie et de la durée du cycle, 4 débits de saturation sont calculés pour le débit maximal atteint (valeur la plus haute sur le mois considéré) et pour le débit maximal moyen (la moyenne des 10 débits de saturation les plus élevés sur le mois considéré).

Temps de vert (s) Tv	23	26	32	37
Durée du cycle (s) Cy	60	70	90	90
Tv/Cy	0,38	0,37	0,36	0,41
Qmax atteint par file veh/h	1383	1683	1835	1906
Q max atteint moyen (10 valeurs du débit les plus importantes) veh/h	1288	1583	1688	1827
Heure de la journée	21H-7H	12H-14H	14H-21H	7H-12H





Méthode par enregistrement vidéo: Carrefour Turcan/Rayettes à Martigues

1 Objectifs

Cette expérimentation a pour objectif de tester :

- une méthode de comptage par enregistrement vidéo des différents mouvements Origine/Destination à un carrefour
- une méthodologie de détermination de débit de saturation in situ et d'étudier l'influence des paramètres pouvant modifier ce débit.

2 Expérimentation

Cette expérimentation s'est intégrée dans une étude de fonctionnement globale d'un carrefour de la ville de Martigues. L'objectif premier était de compter les différents flux Origine /Destination sur chaque branche du carrefour.

3 Méthodologie

Acquisition des données

La réalisation des comptages est faite par enregistrements vidéos des mouvements des véhicules sur chaque branche du carrefour.

Ces enregistrements ont été réalisés à l'heure de pointe du matin entre 8h et 9H30, le mardi 10 juin 2014. Une équipe a installé l'équipement vidéo. Elle est restée sur le site pendant toute la durée de l'acquisition.

Exploitation

L'exploitation des films a été faite ultérieurement par visionnage et comptage par un opérateur. Elle a demandé plusieurs heures.

Les comptages avaient pour objectif :

- la détermination du débit de saturation : nombre de véhicules franchissant le feu pendant la durée du vert
- connaître l'évolution du débit de saturation en fonction de la durée du vert
- vérifier les coefficients appliqués sur les véhicules
- vérifier influence de certains paramètres :
 - mouvement tournant avec un angle de giration
 - démarrage en « côte ».

Les résultats attendus pour chaque branche et chaque mouvement étaient :

Une analyse quantitative

Des comptages indiquant le temps de vert et le nombre de véhicules qui franchissent le feu pendant la durée du vert avec une identification des différents types de véhicules PL, VL, 2R

Analyse qualitative

- fonctionnement "en charge" du carrefour

Savoir si l'arrivée des véhicules sur la ligne de feux est constante (fonctionnement en charge) ou si le nombre de véhicules passant au feu est limité par des arrivées peu importantes.

- dysfonctionnement

Indiquer si des événements limitent le franchissement du feu: traversées de piéton, blocage tourne à gauche, congestion à l'aval

Pour certains branches

Flux principal du carrefour : l'avenue de Turcan pour les mouvements tout droit:

nombre de véhicules passant par tranche de 10 s de vert , 0-10 10-20 20-30 30-40....

cas particulier avenue Moulin de France "démarrage en côte":

indication de la présence d'un PL ou un bus en tête de file pour voir l'impact sur le débit

4 Description du site

Le carrefour est située à l'entrée de la ville; l'environnement routier est marqué. Le carrefour est de grandes dimensions.

A : avenue de Turcan sens A55 vers Martigues

B : avenue Moulin de France

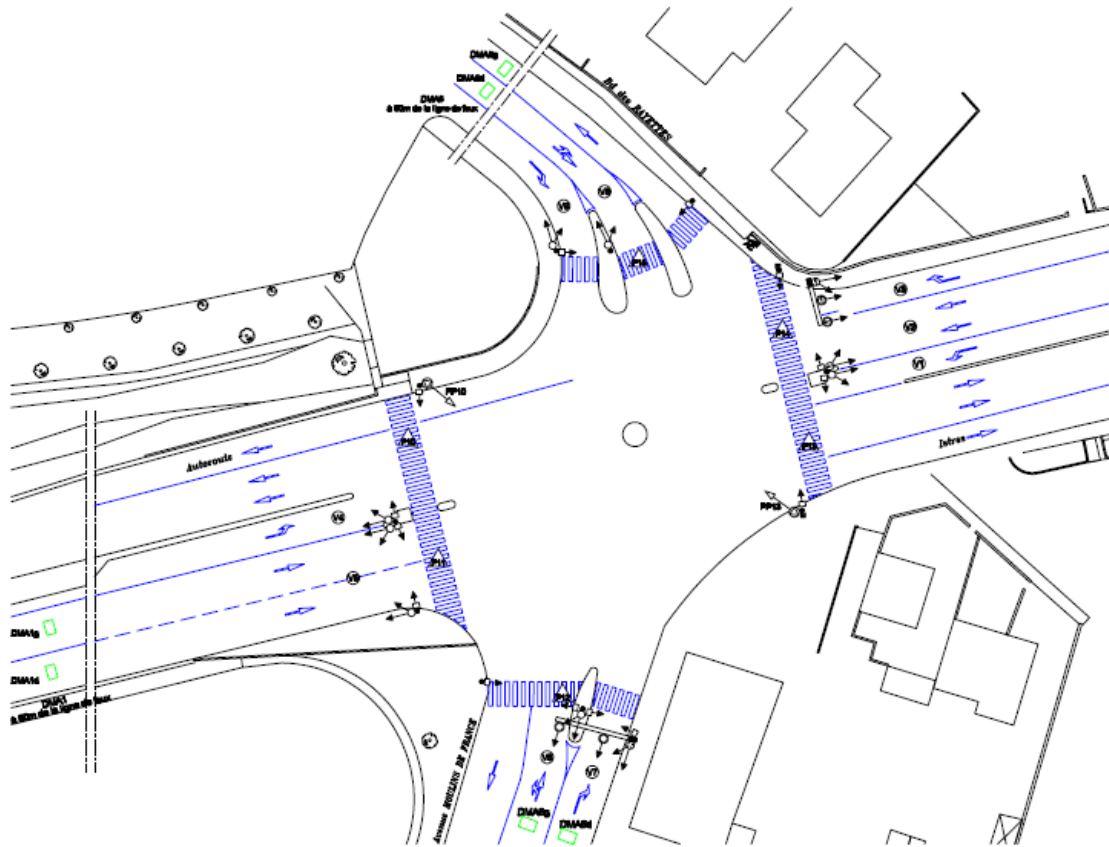
D : avenue Rayettes

C : avenue de Turcan Martigues vers A55



Fonctionnement et phasage

Impact de la durée du cycle de feux sur la capacité l'acceptabilité, la sécurité: rapport d'étape phase 1



Le fonctionnement proposé peut être assimilé à un fonctionnement en 4 phases ou 3 phases avec une phase prolongée avec une durée de cycle de 76 s. Les durées des phases de vert piéton sont très réduites avec un minimum pour un feu de 6 s qui correspond au minimum absolu selon la réglementation.

Le fonctionnement proposé actuellement pour le carrefour Turcan/Rayettes est très complexe avec la mise en place de feux "jaune" clignotant pour les "tourne à droite" en provenance de l'avenue Rayettes et l'avenue Moulin de France.

5 Résultats

Validité de la méthode

Acquisitions des enregistrements vidéos

Elle nécessite la présence d'une équipe pour installer le matériel et le surveiller durant toute l'acquisition.

L'exploitation des enregistrements vidéos

La présence de camions sur certaines files empêchent de voir certains véhicules adjacents. Le carrefour était de grandes dimensions ce qui amplifie le problème.

La détermination de la couleur des feux est parfois difficile du fait de l'orientation des

rayons du soleil.

L'exploitation est relativement longue.

La plus-value de cette méthode est de pouvoir conserver une trace du fonctionnement notamment dans le cadre de l'analyse qualitative. Mais, elle n'est pas forcément plus simple en mettre en place, ni moins consommatrice de temps, ni plus efficace en terme de comptages qu'un comptage manuel effectué sur le terrain.

Débit de saturation

Le débit de saturation est calculé pour chaque cycle, en fonction de la durée du vert mesuré. Il a été déterminé d'une part en ne tenant pas compte des coefficients de véhicules et d'autre part en tenant compte des coefficients de véhicules indiqués dans le guide de conception des carrefours à feux.

- Mouvements où le nombre de véhicules n'est pas assez important pour déterminer un débit de saturation

EX avenue de Turcan : sens A55 vers Martigues centre A-->C mouvement tout droit sur deux files de circulation

temps de vert en s	débit AC veh/h sans tenir compte des coefficients véhicules	débit AC veh/h en tenant compte des coef de véhicules
29	931	931
28	707	675
27	533	533
29	869	869
29	372	372
29	559	559
29	1241	1303
28	514	611
29	993	993
28	579	579
30	480	480
29	683	807
29	993	1055
29	869	869
28	1093	1061
28	771	739
27	600	667
28	1093	1093
28	836	900
30	900	900
30	720	780
30	900	900
28	386	514

Les valeurs du débit de saturation varient fortement.

Est-ce-que l'arrivée de véhicules est toujours importante ? Le carrefour est-il toujours « en charge » ? Il manque des éléments qualitatifs.

Le débit de saturation ne peut donc se mesurer que sur une branche où le débit des véhicules est suffisamment important par rapport à la durée du feu.

avenue Moulin de France vers Collège « mouvement en côte » B--->D

Pas d'élément qualitatif sur l'arrivée des véhicules et un seul PL (impossible de savoir l'influence du démarrage des PL en côte).

avenue Collège vers avenue Moulin de France D--->B

Pas d'élément qualitatif sur l'arrivée des véhicules.

Les valeurs du débit de saturation varient fortement là aussi (voir tableau ci-dessous).

Temps de vert B vers D en s	débit sans coef en veh/h	débit avec coef veh/h
19	568	568
19	758	758
18	800	800
18	800	700
18	600	600
19	1137	1137
18	200	200
18	600	600
18	600	600
19	947	947
18	400	400
18	200	200
18	400	600
19	379	379
20	720	720
18	400	400
18	600	600
19	0	0
16	450	450

Temps de vert D vers B en s	débit sans coef veh/h	débit avec coef veh/h
18	400	400
19	1137	1137
17	847	741
18	400	400
17	847	847
18	1000	1000
18	1000	1400
17	1271	1271
19	758	758
18	400	400
14	0	0
18	1000	1000
19	947	1326
19	189	189
18	1000	1000
18	800	800
18	800	800
19	1137	1137

Moulin de France vers A55 B-->A

Au plus un véhicule par temps de vert effectuée ce mouvement, il n'est donc pas possible de calculer des débits de saturation.

Moulin de France vers Martigues centre B --->C

Le temps de vert est de l'ordre de 34 s et le nombre de véhicules est faible. Il n'est pas pertinent de calculer le débit de saturation.

A55 vers moulin de France A--->B

Au plus un véhicule par temps de vert effectuée ce mouvement donc il n'est pas possible de calculer des débits de saturation.

- Mouvements où le nombre de véhicules est assez important pour déterminer un débit de saturation

Sens A55 vers Martigues centre

temps vert en s	débit de saturation en veh/h	débit de saturation en veh/h en tenant compte des coef véhicules
25	1512	1584
23	1565	1643
24	1725	1725
25	1368	1368
25	1512	1476
25	1152	1152
25	1800	1800
25	1656	1656
25	1728	1728
25	1368	1368
moyenne	1539	1550

Le débit de saturation est relativement constant autour de 1550 veh/h. Le relevé ne comporte que 10 cycles. On ne sait pas si l'arrivée des véhicules était régulière.

Vérification des coefficients de véhicules

La proportion des différents types de véhicules (PL et 2R) n'est pas assez importante pour vérifier les coefficients véhicules (moins d'un PL ou 2R par cycles en moyenne).

Évolution du débit de saturation en fonction de la durée du vert

sens Martigues centre vers A55 C--->A

Calcul de la variation du débit de saturation en fonction de la durée du vert

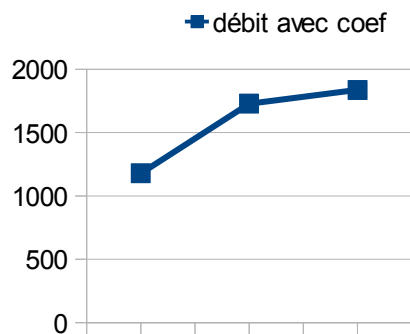
mesure effectuée entre 0 et 10 s de vert : Q1

mesure effectuée entre 10 et 20s de vert : Q2

mesure effectuée en fin de vert : Q3 (environ 5s)

Le débit de saturation est de l'ordre de 1550 veh/h/ voie.

	débit sans tenir compte des coefficients véhicules	débit en tenant compte des coefficients véhicules
moyenne Q1	1170	1179
moyenne Q2	1728	1728
moyenne Q3	1800	1836

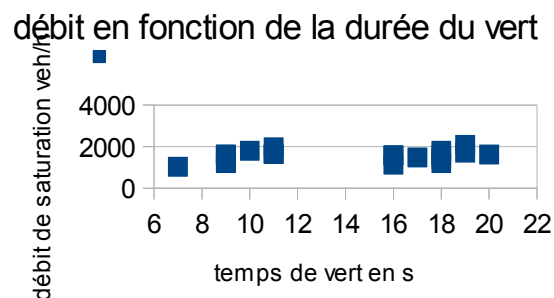


Le débit est plus faible les 10 premières secondes conformément à la bibliographie. La durée du feu vert de 25 s trop courte ne permet pas de conclure sur l'évolution du débit sur des feux verts très longs.

Collège vers A55 sens D ---> A

Ce mouvement a un rayon de giration important.

temps de vert en s	débit sans coef veh/h	débit avec coef veh/h
16	1575	1575
9	1600	1600
16	1125	1125
11	1636	1636
16	1350	1575
10	1800	1800
20	1620	1620
9	1200	1200
19	2084	2084
9	1200	1200
18	1800	1800
9	1200	1600
17	1482	1482
9	1600	1600
18	1200	1200
11	1309	1636
9	1600	1600
18	1400	1400
11	1964	1964
19	1705	1705
7	1029	1029
18	1600	1600



La durée du feu vert varie beaucoup ainsi que le débit de saturation. En l'absence d'autres éléments, il est difficile de faire d'autre conclusion

Méthode par comptage manuel

1 Débit de saturation et influence de la durée du vert sur le débit de saturation

Carrefour Avenue Brossolette/ Churchill

Des comptages ont été réalisés le jeudi 16 octobre à partir de 8H 20. Cependant, il s'est avéré que le nombre de véhicules empruntant cet axe est faible. Il n'est pas possible de calculer des débits de saturation.

De Lattre de Tassigny/Brunet

Le carrefour est en zone urbaine dense. Les mesures sont effectuées sur la branche en provenance de l'autoroute A51 en direction du centre-ville d'Aix, la circulation se fait sur une voie.

La durée du vert est variable suivant les cycles et dure environ 59 s.

Les comptages ont été réalisés le jeudi 16 octobre entre 8H et 9H.

Remarques générales :

Les arrivées des véhicules n'étaient pas toujours régulières notamment en fin de cycles. Durant certains cycles, il y a eu des blocages en



aval, empêchant les véhicules de franchir le feu.

Exploitation

Le nombre de PL et de 2 roues motorisés n'a pas été comptabilisé sur ce carrefour mais il était relativement faible.

Il n'a donc pas été tenu compte des coefficients véhicules.

Tableau récapitulatif du comptage
En blanc les résultats du comptage

N° cycl	Heure (approxin)	0-10 s	Q ₀₋₁₀ veh/h	0-20s	10-20s	Q ₁₀₋₂₀ veh/h	0-30s	20-30 s	Q ₂₀₋₃₀ veh/h	0-40s	30-40 s	Q ₃₀₋₄₀ veh/h	0-50s	40-50 s	Q ₄₀₋₅₀ veh/h	0-60s	50-60 s	Q ₅₀₋₆₀ veh/h	0-70s
1	8H10	5	1800	9	4	1440	14	5	1800	18	4	1440	19	1	360				0 fin 54s
2		5	1800	6	1	360	8	2	720										débit
3		2	720	6	4	1440	8	2	720	10	2	720	11	1	360				débit
4	PL 0-10s	3	1080	7	4	1440	7	0	0	9	2	720	11	2	720	11	0		fin 59s débit et blocage
5	PL 0-10s et 0-20	4	1440	8	4	1440	8	0	0	9	1	360	14	5	1800	17	3	1200	Fin 59 s blocage
6		4	1440	8	4	1440	10	2	720	14	4	1440	15	1	360	18	3	1200	Fin 1'02"
7	8H23	2	720	4	2	720	5	1	360	5	0	0	5	0	0	5	0	0	Fin 59 s débit
8		0	0	3	3	1080	8	5	1800	12	4	1440	14	2	720	14	0	0	Fin 1'02"
9		5	1800	9	4	1440	13	4	1440	18	5	1800	21	3	1080	23	2	800	Fin 59 s
10		1	360	5	4	1440	10	5	1800	11	1	360	11	0	0				fin 50s
11		1	360	4	3	1080	7	3	1080	9	2	720							Fin 41 s
12	8H35	2	720	4	2	720	6	2	720	8	2	720	8	0	0				Fin 45 s débit
13		4	1440	8	4	1440	10	2	720	10	0	0	11	1	360	12	1	360	Fin 1' débit
14		3	1080	7	4	1440	10	3	1080	10	0	0	11	1	360				Fin 50s débit
15		2	720	6	4	1440	10	4	1440	13	3	1080	16	3	1080	19	3	1350	Fin 58
16		4	1440	8	4	1440	11	3	1080	12	1	360	16	4	1440	20	4	1600	Fin 59 s blocage à 40s
17	8H40	3	1080	8	5	1800	9	1	360	9	0	0	10	1	450				Fin 48 s blocage
18		4	1440	8	4	1440	11	3	1080	14	3	1080	14	0	0	15	1	400	Fin 59 s
19		2	720	5	3	1080	7	2	720	9	2	720	11	2	900	15	4	1600	Fin 1' blocage
20	PL 0-10s	4	1440	6	2	720	6	0	0	6	0	0	7	1	450	11	4	2057	Fin 57s blocage
21		4	1440	8	4	1440	12	4	1440	15	3	1080	15	0	0	15	0	0	Fin 1'02" blocage
22		3	1080	8	5	1800	13	5	1800	16	3	1080	17	1	450	17	0	0	Fin 59 s blocage
23		4	1440	7	3	1080	8	1	360	8	0	0	8	0	0	8	0	0	Fin 59 s blocage
24		4	1440	8	4	1440	14	6	2160	17	3	1543							Fin 37 s
25		3	1080	6	3	1080	9	3	1080	12	3	1080	14	2	900	15	1	514	Fin 1'02"

Exploitation

Débit de saturation moyen du carrefour

Le débit moyen a été calculé sur 15 cycles n'ayant pas présenté de blocage et des arrivées régulières jusqu'à 30s. Le temps de vert « utile » étant le temps ou l'arrivée des véhicules est suffisante. La moyenne est de 1300 veh/h. L'écart type est de 241 veh/h. Ce paramètre est un indicateur de la dispersion des résultats.

Evolution du débit en fonction de la durée du vert

Le débit moyen a été calculé sur les tranches 0-10s, 10-20s et 20-30s après éliminations des valeurs provenant d'un blocage du carrefour ou de l'absence de véhicules.

A savoir pour 0-10s cycle 8

pour 10-20 s cycle 2
 pour 20-30 s cycles 2,3,4,5,7,12,13,17,19,20,23

tranche	0-10s	10-20s	20-30s
moyenne	1170 veh/h	1253 veh/h	1414 veh/h
Écart type	428 veh/h	297 veh/h	

Pour la tranche 0-10 s, le départ de la première voiture impacte fortement le débit.

Pertinence de la mesure toutes les 10s

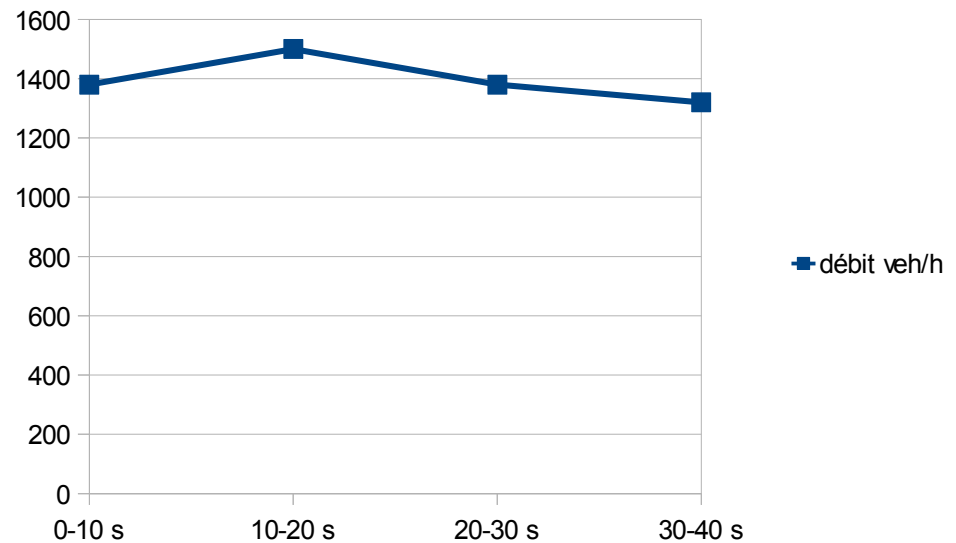
Pour chaque tranche, l'écart du nombre de véhicules mesuré et de plus ou moins un véhicule. Pour une tranche de 10 s ceci entraîne une incertitude sur le débit d'environ 360 veh/heure. Pour des tranches de 20s cette incertitude est réduite à 180veh/h

Evolution du débit en fonction de la durée du vert

6 cycles ont eu des arrivées suffisantes de véhicules jusqu'à 40 s et n'ont pas subi de perturbation à l'aval.

N° cycle	Q ₀₋₁₀ veh/h	10-20s	Q ₁₀₋₂₀ veh/h	20-30 s	Q ₂₀₋₃₀ veh/h	30-40 s	Q ₃₀₋₄₀ veh/h	40-50 s	Q ₄₀₋₅₀ veh/h	50-60 s	Q ₅₀₋₆₀ veh/h	0-70s
1	1800	4	1440	5	1800	4	1440	1	360			0 fin 54s
6	1440	4	1440	2	720	4	1440	1	360	3	1200	Fin 1'02"
9	1800	4	1440	4	1440	5	1800	3	1080	2	800	Fin 59 s
15	720	4	1440	4	1440	3	1080	3	1080	3	1350	Fin 58
18	1440	4	1440	3	1080	3	1080	0	0	1	400	Fin 59 s
22	1080	5	1800	5	1800	3	1080	1	450	0	0	Fin 59 s bloca
moyenne	1380		1500		1380		1320		555		1,8	

Evolution du débit de saturation en fonction du temps



Route de Galice / avenue Marcel Pagnol

Le carrefour se trouve sur une section à 2*2 voies, en entrée de ville. Les voies sont larges. L'environnement autour du carrefour est de type urbain peu dense. Les mesures ont été effectuées sur la branche en provenance de l'autoroute A8 en direction du centre-ville d'Aix en Provence ou de l'autoroute A51 sur les 2 voies. Cette branche est en effet la plus chargée à l'heure de pointe du matin. La durée du feu vert sur cette branche est identique tout au long de l'heure de pointe du matin, elle est de 33s. Les mesures ont été réalisées le vendredi 17 octobre entre 8h et 9h.



Exploitation

Le trafic était chargé pendant l'heure de comptage (8h - 9h) avec un débit constant sans interruption tout au long des mesures.

Le taux de PL est de 11% pour la voie de droite et de 3% pour la voie de gauche.

Débit de saturation moyen

Le débit a été calculé sur l'ensemble des comptages (66) et pour chacune des files sans tenir compte et en tenant compte des coefficients véhicules pour les poids lourds. Le nombre de 2RM étant très faible, ils n'ont pas été comptabilisés.

Le débit de saturation toutes voies est la moyenne du débit voie de gauche et du débit voie de droite.

	Temps de vert	33 s	
Voie de droite	Débit Q veh/h	1650	écart type:271
	Débit Qveh/h avec coef	1820	écart type:222
	Nb de cycles exploités	66	
Voie de gauche	Débit Q veh/h	1790	écart type:199
	Débit veh/h avec coef	1840	écart type:199
	Nb de cycles exploités	66	
Toutes voies	Débit Q veh/h	1720	
	Débit veh/h avec coef	1830	

Avenue Max Juvénal devant le Grand Théâtre de Provence. Le carrefour se trouve près du centre-ville. Il est situé après un giratoire ce qui entraîne des vitesses d'approche faible.

Le feu se trouve sur une rampe avec un % élevé. L'environnement urbain est marqué.



La section est à 2*2 voies. Les mesures sont effectuées sur la branche en provenance du giratoire situé en bas de l'avenue Juvénal en direction du centre d'Aix. Pour la voie de droite le tourne à droite est permis et peut faire baisser le débit de cette voie, le tourne à gauche est lui interdit.

Exploitation

Le taux de PL est 2,6% pour la voie de droite et de moins de 1% pour la voie de gauche. Les deux roues motorisés n'ont pas été comptabilisés car leur nombre est très faible.

Calcul du débit de saturation moyen

Le débit de saturation moyen a été calculé pour les 30 premières secondes de vert (temps de vert « utile ») afin d'avoir un nombre important de valeurs. En effet, au delà de 30 secondes, l'arrivée des véhicules était insuffisante.

Les valeurs de débit s'éloignant trop de la moyenne ont été retirées pour le calcul du débit moyen (3 sur 39 pour la voie de droite et 9 sur 38 pour la voie de gauche).

	Temps de vert « utile »	30 s	
Voie de droite	Débit Q veh/h	1220	écart type:159
	Débit Qveh/h avec coef	1260	écart type:156
	Nb de cycles exploités	36	
Voie de gauche	Débit Q veh/h	1160	écart type:161
	Débit veh/h avec coef	1170	écart type:166
	Nb de cycles exploités	29	
Toutes voies	Débit Q veh/h	1190	
	Débit veh/h avec coef	1220	

Influence de la durée du vert sur le débit

Le temps de vert est de 58s sur cette branche, il est identique tout au long de l'heure mesurée. Suite aux premiers résultats sur le carrefour Delattre de Tassigny/Brunet,

l'influence de la durée du vert a été étudiée par tranche de 20 s passée la première la tranche 0-10s.

Pour la voie de droite, pour les tranches 0-10s, 10-30s et 30-50s.

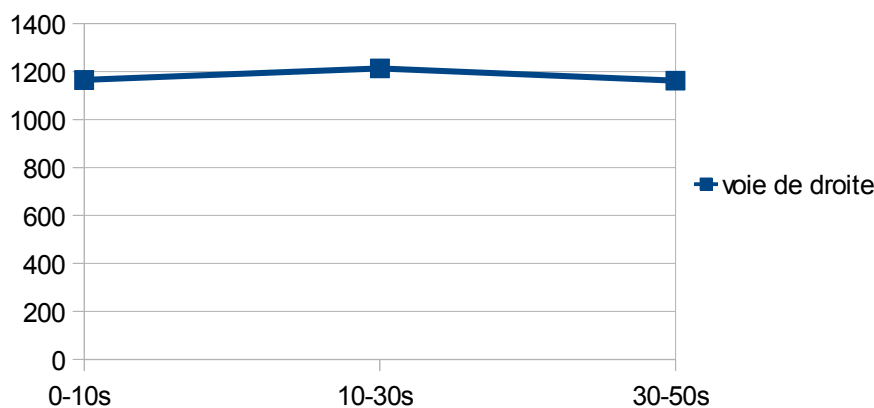
Le débit pour la dernière tranche est faible. Pour un nombre de cycles important, l'arrivée des véhicules n'était pas assez important. Il a été choisit arbitrairement de calculer le débit moyen 30-50s en éliminant les cycles dont le débit est inférieur à 900 veh/h.

Pour la voie de gauche

La tranche 30-50s n'a pas pu être exploitée car l'arrivée des véhicules n'était pas assez importante.

Pour la tranche 10-30s, Il a été choisi arbitrairement de calculer le débit moyen 10-30s en éliminant les cycles dont le débit est inférieur à 900 veh/h.

		0-10 s	10-30s*	30-50s *
Voie de droite	Débit Q veh/h	1165 écart type:270	1213 écart type:270	1162 écart type:270
	Débit Qveh/h avec coef	1175 écart type:274	1260 écart type:268	1195 écart type:270
	Nb de cycles exploités	39	39	20
Voie de gauche	Débit Q veh/h	1251 écart type:274	1174 écart type:188	Non exploitable
	Débit veh/h avec coef	1269 écart type:261	1181 écart type:268	
	Nb de cycles exploités	39	25	



Le débit de saturation varie peu au cours du temps. Un débit plus faible en fin de cycle peut s'expliquer par une arrivée moins importante de véhicules. Il peut s'expliquer également par la présence en aval d'un autre carrefour à feu ; la vitesse de passage des derniers véhicules baisse car ils anticipent leur arrêt dans la file d'attente du prochain feu.

Mouvements de tourne -à-droite

Dans le guide de conception des carrefours, lorsque les véhicules effectuent un mouvement tournant, ce mouvement est affecté d'un coefficient majorant le nombre de véhicules pour tenir compte des contraintes géométriques.

Un mouvement tournant soumis à une giration de 90° est affecté d'un coefficient 1,1.

Des comptages ont été réalisés à deux carrefours présentant des mouvements tourne à droite de 90° avec un rayon de giration de 20 m pour l'un et de 25 m pour l'autre, le 18 novembre 2014 de 8H à 9H : le carrefour Galice/Pagnol et le carrefour de la bretelle de sortie l'A51/ route de Galice.

Pour ces deux mouvements, la voie tourne à droite est dédiée.

Pour la bretelle de sortie de l'A51, il n'y a aucun mouvement antagoniste.

Pour le carrefour Galice/Pagnol, le mouvement tourne à droite est prioritaire sur le mouvement de tourne à gauche de la branche opposée.

Bretelle de sortie A51 vers Aix en Provence



Exploitation des comptages

Le débit de saturation est déterminé en ne tenant compte que de la durée de vert où l'arrivée des véhicules effectuant ce mouvement est suffisante. La durée du vert « utile » est donc variable selon les cycles.

Le coefficient uvpd est calculé en faisant le rapport du débit de saturation théorique (1800 veh/h) sur le débit de saturation du mouvement tourne-à-droite calculé avec les coefficients véhicules.

Les valeurs s'éloignant trop des valeurs moyennes ont été retirées.

Carrefour Galice /Pagnol

	Q veh/h tourne à droite	Q veh/h tourne à droite avec coefficients uvp	Coefficient uvpd (débit de saturation à 1800 veh/h)
--	-------------------------	---	---

moyenne	1300	1360	1,3
Écart type	240	230	
Nb de valeurs exploitées	33	33	

Bretelle de sortie A51 vers Aix en Provence

	Q veh/h tourne à droite	Q veh/h tourne à droite avec coefficients uvp	Coefficient uvpd (débit de saturation à 1800 veh/h)
moyenne	1480	1430	1,3
Écart type	170	160	
Nb de valeurs exploitées	22	22	

Conclusion

Le coefficient d'un mouvement tournant est ici d'environ 1,3.

Les carrefours choisis ne présentent pas de contraintes géométriques particulières (rayon de giration confortable, voies larges, bonne visibilité).

L'environnement urbain est peu marqué, en entrée de ville.

C'est donc des cas où les mouvements de giration ne sont pas difficiles. La valeur indiquée dans le guide (1,1) semble donc optimiste par rapport à celle déterminée in situ.

L'observation des comportements des automobilistes montrent qu'il y a souvent un prise d'information visuelle à gauche et un ralentissement au passage de la ligne de feux même en l'absence de mouvement antagoniste. Ceci, outre les contraintes liées à la giration, expliquerait la diminution du débit de saturation.

