

# La règle des 120 secondes

Phase 2 : Quel impact sur les comportements et la sécurité des usagers ?



**Septembre 2016**

*Rapport d'étude*

**P.C. Interface Transports Collectifs et Voirie**

# Sommaire

<b>1. SIGLES, ACRONYMES ET FEUX.....</b>	<b>4</b>	<b>4.9. Strasbourg Place de Bordeaux.....</b>	<b>40</b>
<b>2. CONTEXTE ET OBJECTIFS.....</b>	<b>5</b>	<b>4.10. Montpellier Citadelle.....</b>	<b>44</b>
2.1. Contexte.....	5	<b>5. IMPACT DES TEMPS D’ATTENTE SUR LE COMPORTEMENT ET LA SÉCURITÉ DES USAGERS.....</b>	<b>47</b>
2.2. Objectifs de l’étude.....	7	5.1. Impact des temps d’attente sur l’accidentalité.....	47
<b>3. METHODOLOGIE EMPLOYEE.....</b>	<b>8</b>	5.2. Comportements des piétons selon le temps d’attente imposé.	48
3.1. Sites étudiés.....	8	5.3. Comportements des automobilistes selon le temps d’attente imposé.....	50
3.2. Analyse du comportement des piétons.....	9	<b>6. CONCLUSION.....</b>	<b>56</b>
3.3. Analyse du comportement des automobilistes.....	10		
3.4. Analyse des temps perdus par les TC.....	10		
<b>4. ETUDE DU COMPORTEMENT DES USAGERS SUR 10 CARREFOURS.....</b>	<b>11</b>		
4.1. Nantes Haluchère.....	11		
4.2. Nantes Jacksonville.....	14		
4.3. Nantes Château.....	17		
4.4. Nantes Pirmil.....	20		
4.5. Metz Boileau.....	24		
4.6. Metz Foch.....	27		
4.7. Lyon Pasteur.....	31		
4.8. Strasbourg Landsberg.....	35		

Référence de la commande		
<b>Maître d'ouvrage</b>	Délégation à la sécurité et à la circulation routières	
	Cerema Direction Technique Territoires et Ville	
<b>Coordonnées du correspondant</b>	Nom	DAMAS Christophe
		04 72 74 59 44
	@	<a href="mailto:Christophe.damas@cerema.fr">Christophe.damas@cerema.fr</a>
Référence de l'affaire : C15 TV 0087		
<b>Chargé d'affaire</b>	Nom	SPEISSER Nicolas
		03 87 20 45 23
	@	<a href="mailto:Nicolas.speisser@cerema.fr">Nicolas.speisser@cerema.fr</a>
Référence Intranet	<a href="http://intra.dterest.cerema.i2">http://intra.dterest.cerema.i2</a>	
<b>Auteur</b>	SPEISSER Nicolas	
<b>Relecteurs</b>	DAMAS Christophe, Cerema DtecTV LAB Samuel, Cerema Est LAROSE Sylvain, Cerema Est TORTEL François, Cerema Est	

## Résumé de l'étude

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'impact des temps d'attente (leur durée et leur crédibilité) sur le comportement des usagers de la route, notamment les piétons et les automobilistes. L'ISR impose aujourd'hui de limiter les temps de rouge à 120 secondes sur tous les carrefours à feux, y compris les carrefours donnant priorité au tramway. Pour respecter cette règle, les gestionnaires de voirie sont contraints de dégrader la priorité aux TC, ou ont recours à des phases de vert très courtes pour les automobilistes. D'autres gestionnaires dérogent à cette règle et imposent aux usagers des temps d'attente bien supérieurs à 120 secondes. L'impact du respect de cette règle sur la sécurité des usagers est évalué. L'étude permet de conclure sur la pertinence de la règle actuelle, et propose une nouvelle valeur limite.

## Principaux résultats

L'analyse détaillée des 10 carrefours a permis d'évaluer les comportements des différents usagers de la route. L'étude a montré que le respect des feux par les piétons est globalement faible. On observe un taux de traversée au rouge de 64 % quand le temps d'attente est court (40 secondes) et d'environ 80 % pour des temps d'attente plus longs (100 à 300 secondes). Il existe un seuil d'acceptabilité et de crédibilité du feu, au-delà duquel les piétons tentent de traverser dès que possible, quelle que soit la couleur du feu. Un temps de rouge de 120 secondes est déjà supérieur à ce seuil. Dans le contexte actuel qui vise à rendre l'espace aux piétons et à sécuriser leurs déplacements, il ne semble pas souhaitable de modifier le seuil des 120 secondes d'attente pour les traversées piétonnes.

En ce qui concerne la circulation générale, il apparaît que le taux de franchissement de feu rouge est faible quand les temps d'attente sont courts (inférieurs à 100 secondes de rouge), avec un taux de franchissement de rouge d'environ 4 % des cycles. Ce taux augmente jusqu'à 10 % quand les temps d'attente s'allongent (de 100 à 300 secondes de rouge). Un temps d'attente de 210 à 300 secondes de rouge ne semble pas engendrer plus de franchissements qu'un temps d'attente de 120 secondes, du moment que l'automobiliste comprend pourquoi il est arrêté. Il existe un intervalle de temps d'attente, entre 210 et 300 secondes, qui semble accepté et respecté par les usagers. L'étude a montré l'existence d'un seuil, au-delà duquel le feu n'est plus

crédible pour l'usager. On peut alors observer des taux de franchissements extrêmement élevés de l'ordre de 35 %. D'après l'étude des carrefours, on peut conclure qu'un temps d'attente de 6 à 12 minutes est manifestement supérieur au seuil de crédibilité et d'acceptabilité pour l'usager.

Les phases de vert de 6 secondes impliquent également des taux de franchissements de rouge très élevés. Sur les phases de 6 secondes de vert, on observe 6 fois plus de cycles franchis que sur les phases de vert de 11 à 15 secondes.

Il semble souhaitable de modifier le seuil de 120 secondes pour les automobilistes, et d'encadrer les pratiques. Augmenter cette valeur limite permettra à la fois de conserver une forte priorité aux TCSP tout en respectant la réglementation, et de limiter l'apparition de phases de vert de 6 secondes et de rouge supérieur à 5 minutes. Il est nécessaire de conserver une valeur limite, afin d'éviter l'apparition de temps de rouge non acceptables pour les usagers.

Il semble souhaitable de porter la valeur limite du temps d'attente pour la circulation générale à 240 secondes, uniquement pour les carrefours traversés par un TCSP. Sous réserve d'une étude assurant que le fonctionnement du carrefour a préalablement fait l'objet d'une optimisation, et justifiant le besoin de dépasser le seuil de 120 secondes, ces carrefours traversés par un TCSP pourraient afficher des temps d'attente atteignant 240 secondes.

## 1. SIGLES, ACRONYMES ET FEUX

### *Sigles et acronymes*

AOM : autorité organisatrice de la mobilité

BHNS : bus à haut niveau de service

DSCR : délégation à la sécurité et à la circulation routières (Ministère de l'Intérieur)

HPM : heure de pointe du matin

HPS : heure de pointe du soir

IISR : instruction interministérielle sur la signalisation routière

PC : poste de contrôle

PL : poids lourd

PMR : personne à mobilité réduite

SAC : système d'aide à la conduite

TC : transport en commun







TCSP : transport en commun en site propre (inclut tramway et BHNS)

TVR : transport sur voie réservée, BHNS guidé à rail central construit par Bombardier

VL : véhicule léger



## Signalisation lumineuse

<p>R11</p> 	<p>R17</p> 	<p>SAC</p> 
<p>R12</p> 	<p>R25</p> 	<p>R24</p> 

## 2. CONTEXTE ET OBJECTIFS

### 2.1. Contexte

L'instruction interministérielle sur la signalisation routière (Arrêté du 24 novembre 1967 relatif à la signalisation des routes et autoroutes) précise dans sa 6ème partie « Feux de circulation permanents », 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. »*

#### Une réglementation peu adaptée

La rédaction de l'IISR est floue et sujette à interprétation, notamment sur la définition du « temps d'attente » et des « circonstances exceptionnelles d'actions prioritaires ». Si la remontée de file est importante, un automobiliste devra attendre plusieurs cycles pour franchir le carrefour. La définition du « temps d'attente » correspond-elle à celle du temps de rouge, ou bien au temps d'attente global permettant de franchir le carrefour ? Par ailleurs, la mention « et cætera » apporte également une incertitude sur les types d'intersection pouvant dépasser les 120 secondes.

La valeur limite de 120 secondes a été définie « à dire d'experts ». Elle figurait déjà dans l'instruction interministérielle de 1991.

#### Un seuil qui existe aussi à l'étranger

Cette limite du temps d'attente au feu rouge n'est pas une spécificité française. Elle existe notamment en Allemagne, dans le RiLSA (Richtlinien für Lichtsignalanlagen), guide allemand de conception des carrefours à feux, qui recommande que le temps d'attente au feu n'excède pas 120 secondes pour les

véhicules motorisés, et 60 secondes pour les piétons et les cyclistes. En Allemagne, cette recommandation n'a pas de valeur réglementaire.

La limite des 120 secondes constitue un garde-fou utile pour éviter certaines dérives dans la conception et la régulation des carrefours complexes ; elle s'avère cependant contraignante dans certains cas de carrefours où on souhaite donner la priorité aux feux à des tramways ou BHNS.

### De forts enjeux pour tous les modes

Pour les services de transport collectif, la priorité aux carrefours est essentielle à la définition du « haut niveau de service ». Limiter cette priorité aux carrefours impliquerait des arrêts plus fréquents et des temps d'attente plus importants, ce qui a un impact direct sur la régularité, le temps de parcours, les coûts d'exploitation et l'image des transports collectifs en site propre. D'après certains exploitants, la perte de temps représentée par l'arrêt des TC aux carrefours dans le but de respecter les 120 secondes peut nécessiter, pour produire le même service, d'acheter quelques rames supplémentaires, ce qui représenterait plusieurs millions d'euros.

Pour les piétons (dont les PMR) et les cyclistes, un temps d'attente de 120 secondes est déjà trop élevé. D'après le « Highway Capacity Manual »<sup>1</sup>, au-delà de 30 secondes, le piéton devient impatient et tend à prendre des risques pour traverser, sauf en cas d'un important conflit avec le trafic. Le risque de traverser au rouge au-delà de 40 secondes est élevé et très élevé au-delà de 60 secondes d'attente. Dépasser 120 secondes d'attente pour les modes actifs pourrait les inciter à traverser au rouge. Pour leur sécurité (et leur confort), il est primordial de minimiser les temps d'attente pour ces usagers.

Enfin, pour la circulation générale (voitures, deux-roues motorisés, camions, bus ne bénéficiant pas de site propre, etc.), la priorité aux feux pour les véhicules de TC peut parfois impliquer des temps d'attente très longs. Ces temps d'attente peuvent engendrer des situations de congestion et de saturation des zones les plus chargées. Un temps d'attente excessif peut induire des franchissements de feu rouge puis des collisions. Pour être respectés, les feux doivent être crédibles, or un temps d'attente de plusieurs minutes peut compromettre leur crédibilité.

---

1 *Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Research Council, Page 654*

### Une situation qui se dégrade au fil des années

Le développement de réseaux de tramway et de BHNS en France, accompagné d'une priorité aux carrefours pour ces véhicules par rapport à la circulation générale et d'une volonté de les faire passer en phase spéciale, a conduit à allonger les temps de rouge pour les voitures, les piétons et les cyclistes.

Les gestionnaires sont donc soumis à un choix difficile. Soit donner la priorité au TC et risquer un dépassement des 120 secondes et donc un non-respect de l'IISR ; soit respecter l'IISR et ralentir ou arrêter les TC aux carrefours, et donc dégrader la performance du service.

Ce problème ayant été remonté par les collectivités au sein du Groupe de travail « Aménagement et Signalisation liés aux TC » qu'il anime, le Cerema a engagé une réflexion sur le sujet.

La question de la responsabilité en cas d'accident n'a, à ce jour, pas été traitée. Aucune jurisprudence n'existe sur ce point. Un automobiliste franchissant le feu rouge après 150 secondes d'attente et se faisant percuter par un tramway, est en droit de porter plainte contre la collectivité. Celle-ci devra alors justifier le non-respect de l'instruction. Une telle situation pourrait remettre en question la priorité aux feux pour les véhicules de transport en commun.

## 2.2. Objectifs de l'étude

Plusieurs services techniques de grandes agglomérations ont remonté au Cerema leurs questionnements vis-à-vis de la règle des 120 secondes. Le Cerema a donc lancé une étude sur le sujet pour, dans une première phase, connaître l'état des pratiques en France, et dans un second temps, étudier l'impact des temps d'attente sur la sécurité des usagers, puis conclure sur une éventuelle modification de la règle.

### 2.2.1. Résultats de la première phase

La première phase de l'étude a permis de recenser les pratiques sur les réseaux français. Elle s'est appuyée sur la réalisation de 32 entretiens auprès de toutes les collectivités ayant un service de tramway ou de TVR, et de trois collectivités ayant un service de BHNS. Ce travail a été complété par quelques entretiens réalisés auprès d'exploitants de réseaux TC.

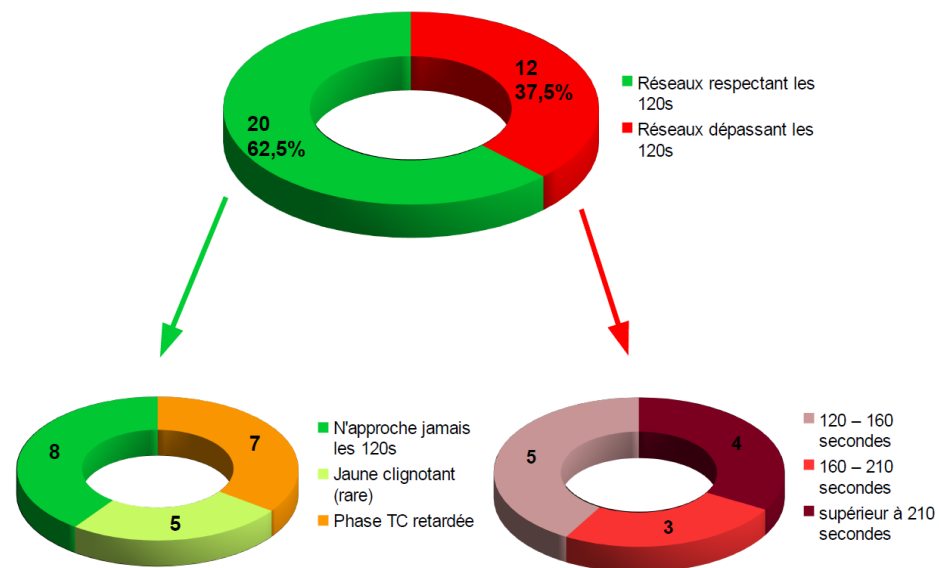
La première phase a montré que le respect de la règle des 120 secondes représentait une difficulté d'ampleur nationale. Avec le développement récent des réseaux de tramway et de BHNS, le régime de priorité aux carrefours pour ces véhicules a atteint ses limites et rentre en contradiction avec l'IISR. Sur la majorité des grands réseaux français, il est devenu impossible de donner une priorité absolue au TC et de respecter un temps maximal de rouge de 120 secondes pour tous les usagers, piétons, cyclistes et automobilistes.

Les réseaux ne présentant qu'une seule ligne de TCSP sont peu concernés par cette difficulté. C'est le cas d'une dizaine de réseaux, sur lesquels la fréquence des TC n'est pas suffisamment élevée pour impliquer un dépassement des 120 secondes.

A l'inverse, sur la vingtaine de réseaux directement impactés par la règle des 120 secondes, deux politiques de priorité aux carrefours se distinguent. Sept d'entre eux (en orange sur le schéma) ont fait le choix d'arrêter occasionnellement leurs TCSP au carrefour, leur permettant de donner du temps de vert aux autres voies, et assurant ainsi un respect systématique des 120

secondes. Ce fonctionnement vise à donner une phase de vert très courte aux automobilistes, généralement de 6 secondes, permettant à 2 voire 3 véhicules de franchir le carrefour.

D'autre part, 12 réseaux ont décidé de maintenir la priorité au TC en cas d'atteinte des 120 secondes sur une autre ligne de feux, quitte à régulièrement dépasser les 120 secondes sur les carrefours les plus complexes. Des temps de rouge de plus de 3, 4 voire 5 minutes peuvent être atteints chaque jour sur certains réseaux.



En France, plus de 100 carrefours impliquent un arrêt du tramway ou BHNS pour respecter les 120 secondes. Par ailleurs, plus de 200 carrefours traversés par un TCSP dépassent les 120 secondes à chaque heure de pointe.

Un rapport d'étape (*La règle des 120 secondes, Phase 1 : Comment est-elle appliquée en France, sur les carrefours avec priorité aux TC ?*) est disponible sur le site internet du Cerema. Il présente l'ensemble des résultats de cette première phase.

## 2.2.2. Objectifs de la seconde phase

### Les piétons, usagers vulnérables

La seconde phase de l'étude, objet du présent rapport, a pour objectif d'évaluer les impacts d'un respect ou non de la règle des 120 secondes sur la sécurité de tous les usagers, et en particulier sur la sécurité des piétons. Comment se comportent les piétons lorsqu'ils sont soumis à un temps d'attente très long ? Comment ces temps d'attente importants sont-ils acceptés par les usagers ? La question de l'acceptabilité des temps d'attente et de la crédibilité des feux sera traitée, pour tous les types d'usagers.

### Comportement des automobilistes

La même question se pose pour la circulation générale. Les choix opérés par les gestionnaires peuvent entraîner des temps de rouge dépassant largement les deux minutes. Quel est l'effet de ces temps de rouge allongés sur le nombre de franchissements de rouge et sur le nombre d'accidents ? Par ailleurs, sans se focaliser uniquement sur les temps de rouge, l'impact de la durée des temps de vert sur les comportements sera également étudiée.

### Impact sur le niveau de service des TC

Enfin, les temps d'attente ont un impact certain sur la qualité de l'offre TC. Un respect des 120 secondes peut impliquer une perte de priorité du TC. Quel impact sur sa progression ? Quel temps est réellement perdu à l'intersection ? Ces temps perdus peuvent impacter la régularité du service, le temps de parcours et in fine engendrer des coûts d'exploitation supplémentaires.

L'objectif final de l'étude est d'évaluer la pertinence de cette règle des 120 secondes, au vu de l'état des pratiques et des multiples impacts qu'elle peut avoir sur le fonctionnement des carrefours et la sécurité des usagers. En fonction des résultats obtenus, il pourra être envisagé de monter un dossier de demande de modification de l'IISR auprès de la DSCR. Une nouvelle rédaction de cette partie pourrait alors être proposée.

## 3. METHODOLOGIE EMPLOYEE

### 3.1. Sites étudiés

Les 10 carrefours ont été choisis dans le but de couvrir les principaux types de signalisation (R24, R11v et R12), d'étudier le comportement de tous les usagers (VL, 2RM, piétons et cyclistes), de comparer différents types de gestion des feux (phases de vert courtes, temps d'attente longs, ou temps de vert et de rouge confortables pour les usagers) et de concerner des agglomérations réparties dans plusieurs régions de France. Il s'agit de :

- **Nantes Haluchère** : une ligne de tramway et une ligne de TER qui passent entre deux giratoires. Les VL sont arrêtés en barrage, avec des feux R24. Les VL bénéficient parfois de phases très courtes (6 secondes) pour traverser le carrefour. L'analyse porte sur le respect du feu R24 par les automobilistes.
- **Nantes Jacksonville** : giratoire traversé par une ligne de tramway. Les VL sont arrêtés sur l'anneau, en barrage, avec des feux R24. L'analyse porte sur le respect du feu R24 par les automobilistes.
- **Nantes Strasbourg – Château** : traversée piétonne parallèle au tramway, avec une fréquentation piétonne importante. L'analyse porte sur le comportement des piétons.
- **Nantes Pirmil** : carrefour complexe traversé par une ligne de tramway. Pour respecter la règle des 120 secondes, les tramways sont parfois contraints de s'arrêter quelques secondes en pied de feu. Une analyse spécifique est menée sur les temps perdus par le tramway.
- **Metz Boileau – Thionville** : carrefour en croix traversé par une ligne de BHNS, qui tourne dans le carrefour. L'analyse porte sur le respect du feu R11v par les automobilistes.
- **Metz Foch – Curel** : carrefour complexe situé à proximité de la gare de Metz, très fréquenté par les piétons. Les temps d'attente sont importants. L'analyse porte sur le comportement des piétons.
- **Lyon Pasteur** : carrefour complexe traversé par une ligne de tramway,

et alimenté par une sortie d'autoroute. Les temps d'attente sont importants, et dépassent légèrement 120 secondes. L'analyse porte sur le respect du feu R11v par les automobilistes.

- **Strasbourg Landsberg** : carrefour en croix traversé par 3 lignes de tramway. Les temps d'attente sont importants et dépassent largement les 120 secondes. L'analyse porte sur le respect du feu R11v par les automobilistes.
- **Strasbourg Place de Bordeaux** : carrefour complexe traversé par 2 lignes de tramway, à proximité d'un collège et lycée, très fréquenté par les piétons. Les temps d'attente imposés aux piétons sont importants et dépassent largement les 120 secondes. L'analyse porte sur le comportement des piétons.
- **Montpellier Citadelle** : carrefour complexe traversé par 3 lignes de tramway. Sur la ligne de feu étudiée, les temps d'attente imposés aux automobilistes sont importants et dépassent largement les 120 secondes.

## 3.2. Analyse du comportement des piétons

Au niveau des traversées piétonnes, les comportements des piétons ont été analysés. Quand le piéton arrive au niveau de la traversée et que le feu est au vert, il traverse. Seuls les comportements des piétons arrivant au rouge ont été analysés. Nous avons distingué les comportements suivants :

- Le piéton arrive au rouge et traverse immédiatement. Il est comptabilisé dans la première catégorie « rouge ».  
Le piéton arrive au rouge, observe les créneaux disponibles entre les véhicules, et traverse dès qu'un créneau lui semble suffisant. Il traverse dès que possible. Il ne tient pas compte de la couleur du feu. Nous avons considéré qu'il avait le même comportement que la première catégorie. Il est donc également comptabilisé dans la première catégorie « rouge ».
- Le piéton arrive au rouge et attend. Des créneaux sont disponibles entre les véhicules, mais il fait le choix d'attendre. Certains piétons ne regardent pas la circulation et n'évaluent pas les créneaux disponibles. Ils regardent ailleurs, lisent, regardent leur téléphone, discutent. Après un temps d'attente, le piéton perd patience. Il regarde la circulation et traverse au rouge. Il est comptabilisé dans la seconde catégorie « attend puis rouge ».
- Le piéton arrive au rouge et attend. Des créneaux sont disponibles entre les véhicules, mais il fait le choix d'attendre. Le feu passe au vert et il traverse. Il est comptabilisé dans la troisième catégorie « attend vert (choix) ».
- Le piéton arrive au rouge. Il regarde attentivement la circulation, évalue les créneaux disponibles et se tient prêt à traverser. La circulation est dense et aucun créneau ne permet de traverser. Aucun autre piéton ou cycliste ne parvient à traverser. Le feu piéton passe alors au vert, il traverse. Nous considérons qu'il n'a pas fait le choix d'attendre, et que si un créneau s'était présenté, il aurait traversé au rouge. Il est donc comptabilisé dans la quatrième catégorie « attend vert (aucun créneau) ».

L'analyse du comportement des cyclistes a été réalisée selon la même méthodologie.

temps de rouge atteignant 120 secondes, ou si l'arrêt est dû à une difficulté d'exploitation.

### 3.3. Analyse du comportement des automobilistes

Plusieurs carrefours font l'objet d'une analyse des comportements des automobilistes. Sur les lignes de feux étudiées, les temps de vert et de rouge ont été systématiquement notés à chaque changement de couleur du feu. Ainsi, nous en avons déduit les temps moyens de vert et de rouge, ainsi que les temps minimum et maximum observés.

Nous avons noté tous les véhicules passant au vert. Pendant le temps de rouge, nous avons identifié les véhicules franchissant le feu rouge. Il s'agit des véhicules dont l'avant n'a pas atteint la ligne d'effet des feux à la seconde où le feu passe au rouge, et qui franchissent le feu rouge.

Pour ces véhicules étant passés au rouge, nous avons relevé la seconde de franchissement, c'est-à-dire si les véhicules ont franchi le ligne d'effet des feux pendant la 1<sup>ère</sup> seconde de rouge, 2<sup>ème</sup> seconde, 3<sup>ème</sup> ou davantage. Les automobilistes démarrant au milieu du temps de rouge ont également été relevés. Pour chaque ligne de feu, le nombre moyen de dépassements des 120 secondes par heure a également été calculé.

Sur les carrefours gérés par R24, il n'existe pas de temps de jaune. Les automobilistes qui ont franchi le R24 au rouge, qui étaient proches du feu lorsqu'il s'est allumé et dont la vitesse ne leur permettait pas de s'arrêter, n'ont pas été comptabilisés. Pour les conflits gérés par feux R24, nous avons distingué les automobilistes franchissant le R24 avant le passage d'un tramway, et ceux qui attendent que le tramway passe puis franchissent le feu R24 alors qu'il clignote encore.

### 3.4. Analyse des temps perdus par les TC

Pour respecter la règle des 120 secondes, les gestionnaires sont parfois contraints d'arrêter les tramways en pied de feu, ce qui représente une perte de temps. L'analyse par vidéo d'un carrefour nantais a permis d'évaluer les temps perdus par le tramway. Les temps de traversée du carrefour et les temps d'arrêt ont été étudiés. Pour chaque arrêt du tram, il a été observé si l'arrêt est dû à un



## 4. ETUDE DU COMPORTEMENT DES USAGERS SUR 10 CARREFOURS

### 4.1. Nantes Haluchère

#### Plan

Il s'agit d'une section située entre deux carrefours giratoires. Cette section présente deux voies VL dans chaque sens. Deux bandes cyclables sont matérialisées de chaque côté. Elle est traversée par deux voies de tramway, et par deux voies de TER. En cas d'arrivée d'un tramway ou d'un TER, les véhicules légers sont arrêtés par des feux clignotants R24, placés en barrage.

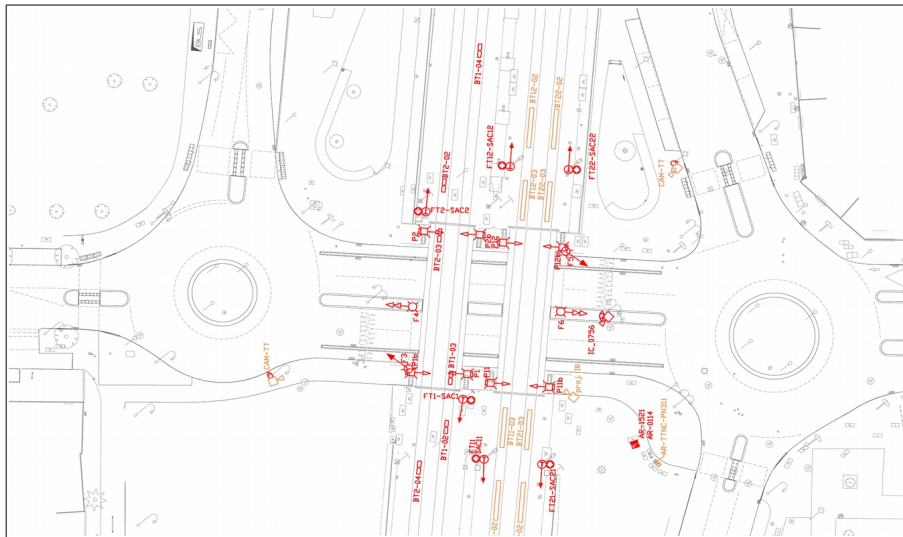


Illustration 1: Plan du carrefour Haluchère (source : Nantes Métropole)



Illustration 2: Photo du carrefour Haluchère

(source : Google Maps)

### Trafics et offre TC

En 2016, la fréquence HP de la ligne de tramway 1 est de 4 minutes par sens, soit 30 tramways qui franchissent le carrefour par heure.

À cela s'ajoutent quelques trains de type TER, avec environ 3 trains par heure.

En moyenne, on a donc un matériel roulant (tramway ou TER) qui se présente toutes les 110 secondes environ.

### Phasage et plan de feux

Ce n'est pas un carrefour à feux à proprement parler, il n'y a pas de cycle de feux.

En fonctionnement normal, les feux sont éteints et les véhicules traversent les voies. Quand un tramway ou un TER est détecté, les feux R24 s'allument au rouge clignotant, jusqu'à ce que le matériel roulant ait activé la boucle d'acquiescement.

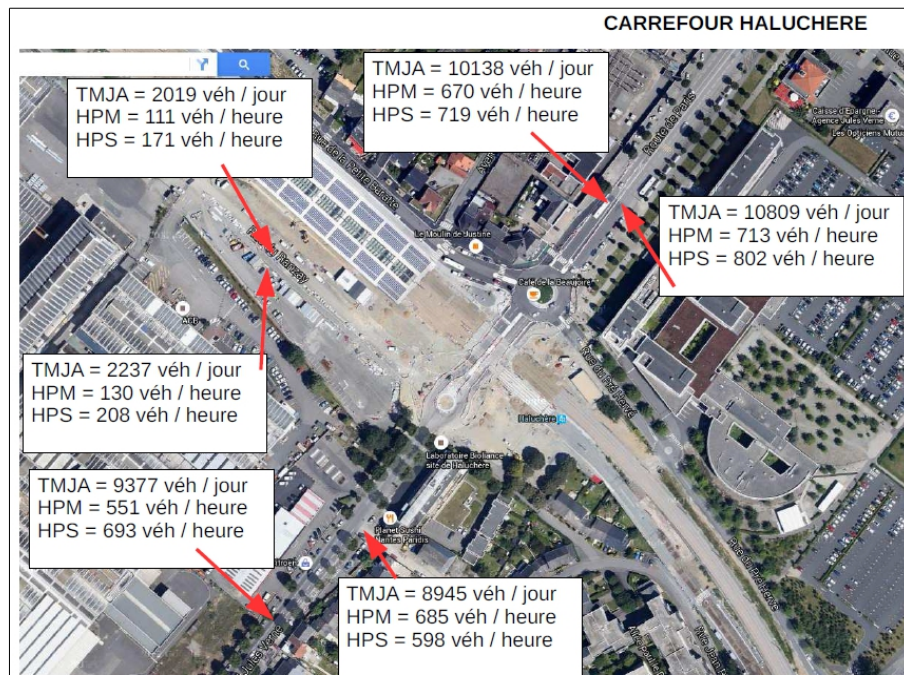


Illustration 3: Données de trafic sur le carrefour Haluchère

(source : Nantes Métropole)

Peu de piétons ont été observés sur ce carrefour.

### Type de priorité TC

A Nantes, les tramways bénéficient d'une priorité relative. En cas d'atteinte de 120 secondes de rouge sur une ligne de feu, les tramways sont ralentis afin de donner le vert à la ligne de feu concernée. Après un temps de vert de 6 secondes, la priorité est redonnée au tramway.

Dans le cas du carrefour Haluchère, les feux sont placés en barrage, en sortie d'un giratoire. Il n'y a pas d'autres lignes de feux. Hormis les cas de panne ou d'accident, le rouge clignotant n'atteint jamais 120 secondes.

### Accidentologie

Il n'y a pas eu d'accident corporel sur ce carrefour entre 2009 et 2014.



### Étude des comportements

Le carrefour Haluchère a été filmé plusieurs mardi et jeudi sur les périodes 7h-10h et 16h-19h. L'analyse de 24h de vidéo nous donne les résultats suivants :

Temps de "vert" moyen	Temps de rouge moyen	Temps de rouge max	Nombre de dépassement des 120s par heure
79	24	87	0

Le temps de « vert » est ici un temps de « non-rouge », pendant lequel les feux R24 sont éteints et les véhicules sont autorisés à passer.

Plus de 16 000 véhicules ont été observés (dans le sens Sud-Ouest vers Nord-Est). Parmi ces véhicules, 134 véhicules ont franchi le feu rouge, soit 0,80 % des véhicules. La grande majorité d'entre eux franchit le feu rouge R24 avant passage du matériel roulant.

	Trafic	Passages au rouge	Dont Avant Tram	Dont Après Tram
VL	16755	134	117	17
Pourcentage VL		0,80%		
2RM	496	13	5	8
Pourcentage 2RM		2,62%		
Cyclistes	495	29	16	13
Pourcentage Cyclistes		5,86%		

On observe un taux de franchissement plus élevé pour les 2RM (2,62%) et pour les cyclistes (5,86%). Les 2RM, contrairement aux automobilistes, démarrent davantage au rouge dès que le tramway est passé.

## 4.2. Nantes Jacksonville

### Plan

Il s'agit d'un carrefour giratoire, dont l'îlot central est traversé par la ligne 1 de tramway.



Illustration 4: Photo du carrefour Jacksonville

(source : Google StreetView)

En cas d'arrivée d'un tramway, les véhicules sont arrêtés en barrage, sur le giratoire, par des feux rouges clignotant R24. Les véhicules circulant sur l'axe principal et allant tout droit ne sont donc pas concernés par le conflit avec le tramway. L'échantillon de véhicules en conflit avec le tramway est donc réduit.

Sur le mât de gauche, 4 feux s'allument en alternance.

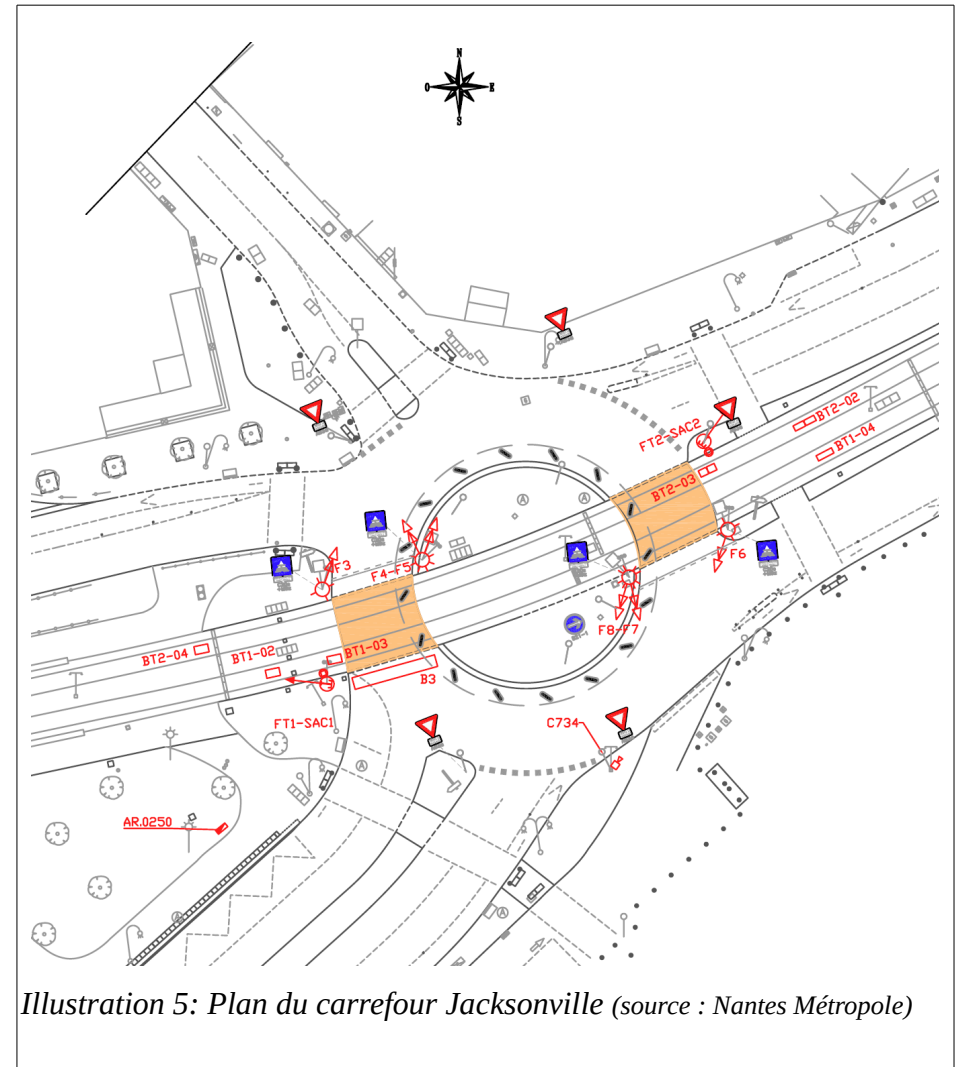
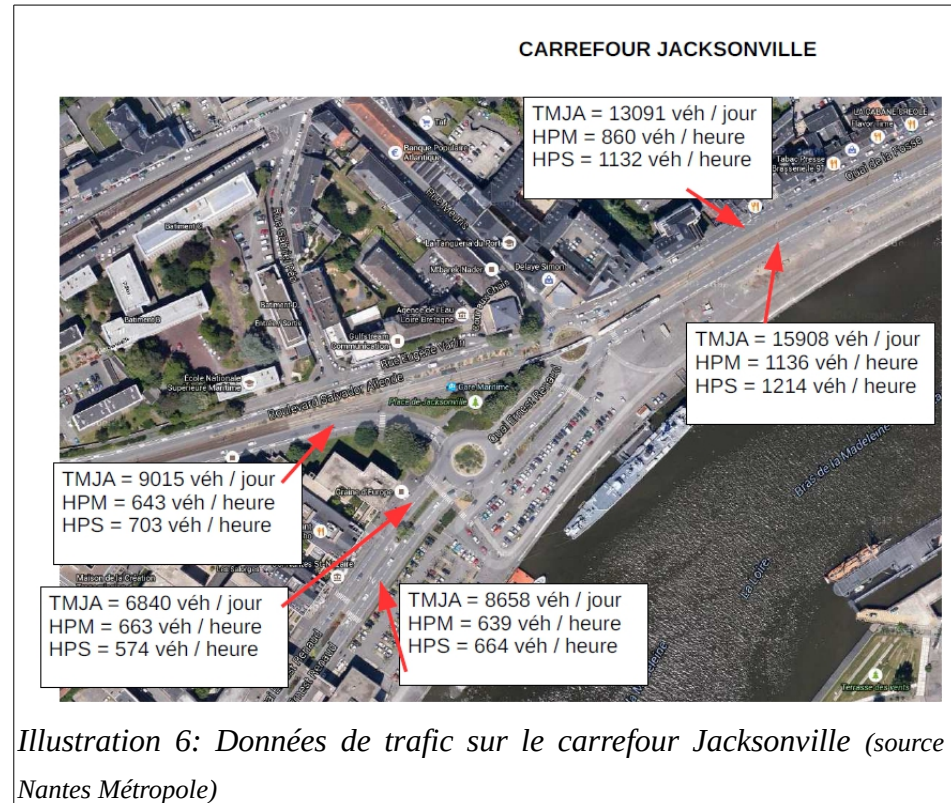


Illustration 5: Plan du carrefour Jacksonville (source : Nantes Métropole)

### Traffic et offre TC

Le trafic VL traversant le carrefour giratoire est important (voir comptages ci-dessous). Par contre, le mouvement de tourne-à-gauche en conflit avec la voie tramway est relativement faible. Peu de véhicules sont donc impactés par la traversée du tramway.



En 2016, la fréquence moyenne (en heure de pointe et par sens) de la ligne de tramway 1 est de 4 minutes. 30 tramways franchissent le carrefour par heure, soit 1 tram toutes les 2 minutes.

### Phasage et plan de feux

Il n’y a pas de carrefour à feux à proprement parler, donc il n’y a pas de phasage ni de plan de feux. En fonctionnement normal, les feux sont éteints et les véhicules traversent les voies. Quand un tramway ou un TER est détecté, les feux R24 s’allument au rouge clignotant, jusqu’à ce que le matériel roulant ait activé la boucle d’acquiescement.

### Type de priorité TC

A Nantes, les tramways bénéficient d’une priorité relative. En cas d’atteinte de 120 secondes de rouge sur une ligne de feu, les tramways sont ralentis afin de donner le vert à la ligne de feu concernée. Après un temps de vert de 6 secondes, la priorité est redonnée au tramway.

Dans le cas du carrefour Jacksonville, les feux sont placés en barrage, au milieu du giratoire. Il n’y a pas d’autres lignes de feux. Hormis les cas de panne ou d’accident, le rouge clignotant n’atteint jamais 120 secondes.

## Accidentologie

Un seul accident corporel a été recensé entre 2009 et 2014. Il s'agit d'une collision entre deux VL au niveau de l'entrée du giratoire, survenue la nuit (2h15). Cet accident ne concerne ni les feux, ni la traversée du tramway.

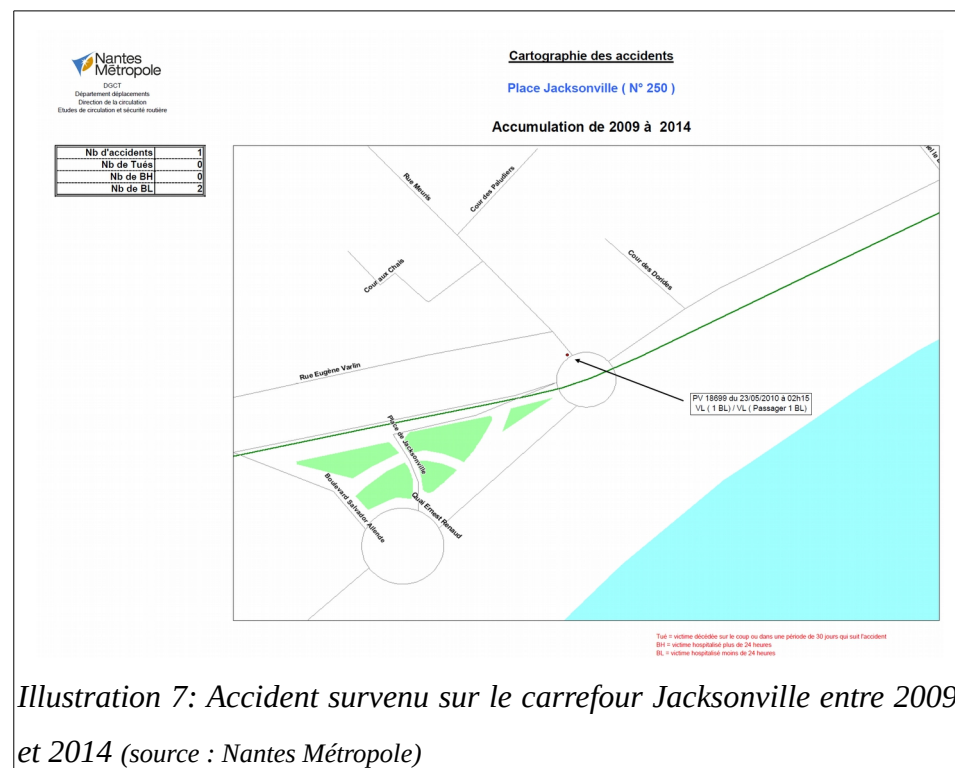


Illustration 7: Accident survenu sur le carrefour Jacksonville entre 2009 et 2014 (source : Nantes Métropole)

## Étude des comportements

Le carrefour a été filmé plusieurs mardi et jeudi sur les périodes 7h-10h et 16h-19h. L'analyse de 12h de vidéo nous donne les résultats suivants :

Temps de "vert" moyen	Temps de rouge moyen	Temps de rouge max	Nombre de dépassement des 120s par heure
87	21	58	0

Le temps de « vert » est ici un temps de « non-rouge », pendant lequel les feux R24 sont éteints et les véhicules sont autorisés à passer.

Environ 1 000 véhicules ont été observés. Parmi ces véhicules, 11 véhicules ont franchi le feu rouge, soit 1,06 % des véhicules. La grande majorité d'entre eux franchit le rouge avant passage du matériel roulant.

On observe un taux de franchissement plus élevé pour les cyclistes (6,39%). Les cyclistes, contrairement aux automobilistes, démarrent au rouge dès que le tramway est passé.

	Trafic	Passages au rouge	Dont Avant Tram	Dont Après Tram
VL	1036	11	10	1
Pourcentage VL		1,06%		
2RM	38	0	0	0
Pourcentage 2RM		0%		
Cyclistes	219	14	4	10
Pourcentage Cyclistes		6,39%		



### 4.3. Nantes Château

#### Plan

La traversée piétonne du carrefour Strasbourg – Château (voir traversée piétonne au premier plan sur la photo ci-dessous) a été étudiée. Cette traversée se situe à quelques mètres du château des ducs de Bretagne, entre la gare et le centre-ville de Nantes. Les piétons sont donc nombreux à l'heure de pointe sur cet itinéraire.

La traversée est parallèle à la ligne de tramway 1, elle mesure environ 12 mètres, en incluant l'îlot. Le carrefour présente un plateau surélevé, permettant d'abaisser les vitesses.



Illustration 8: Photo du carrefour Strasbourg – Château

(source : Google StreetView)

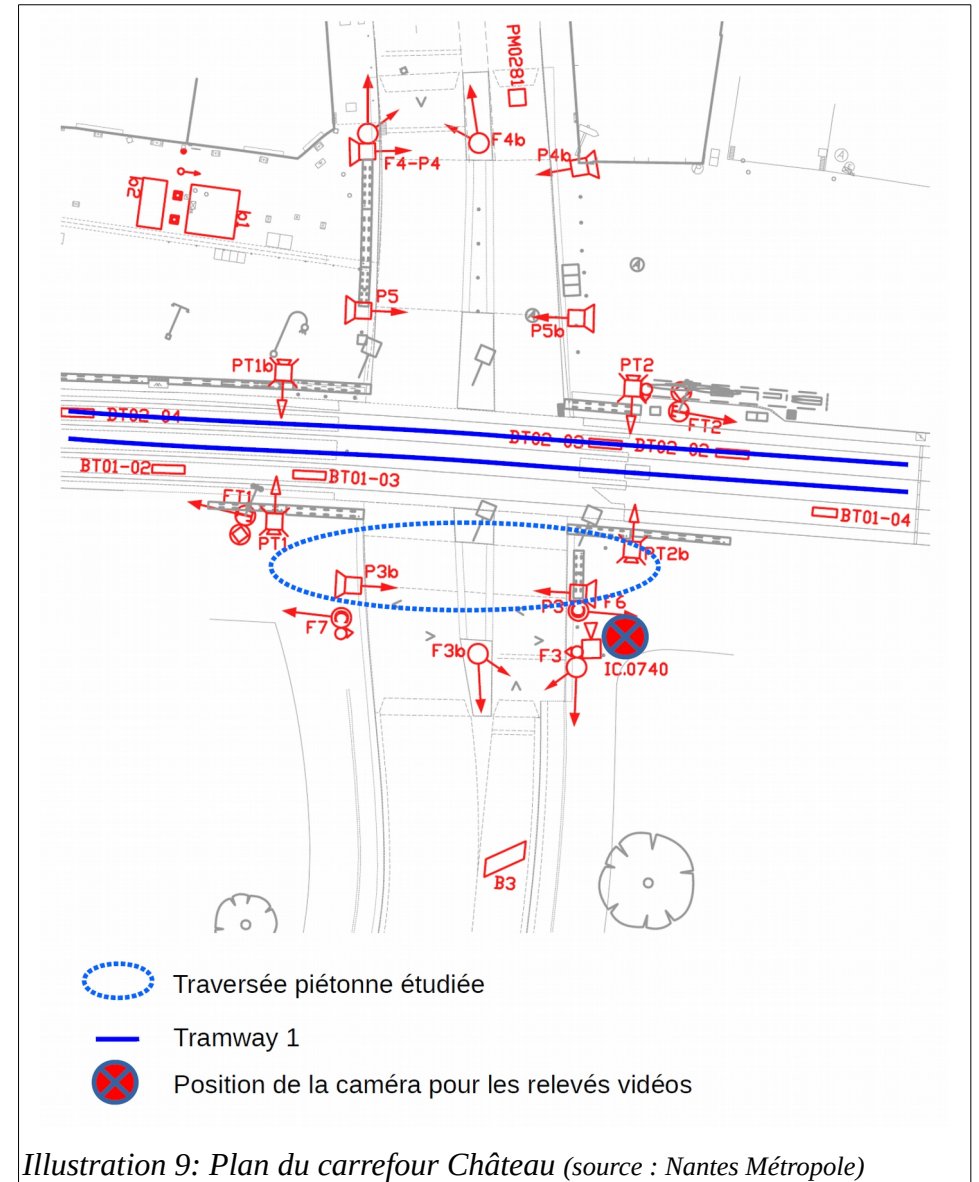


Illustration 9: Plan du carrefour Château (source : Nantes Métropole)

### **Trafics et offre TC**

En 2016, la fréquence HP de la ligne de tramway 1 est de 4 minutes pour chaque sens, soit 30 tramways qui franchissent le carrefour par heure.

Les trafics VL sont détaillés ci-contre.

Les piétons sont nombreux sur ce carrefour.

### **Phasage et plan de feux**

Le carrefour Château est un carrefour en croix, avec une rue à double sens croisée par une ligne de tramway. Quand le tramway est détecté, le feu R11v passe au rouge pour les autres véhicules.

Le carrefour est géré en deux phases : 1 phase VL et une phase piétons, auxquelles s'ajoutent des phases tramway. Pendant la phase tram, le feu piéton demeure de la couleur qu'il était à l'arrivée du tram. En fonction de la seconde d'arrivée du tramway, le feu piéton peut donc être vert ou rouge pendant la phase tram.

Le fonctionnement du carrefour étant très simple, en dehors des cas de panne ou d'accident, les temps d'attente n'atteignent jamais 120 secondes.

### **Type de priorité TC**

A Nantes, les tramways bénéficient d'une priorité relative. En cas d'atteinte de 120 secondes de rouge sur une ligne de feu, les tramways sont ralentis afin de donner le vert à la ligne de feu concernée. Après un temps de vert de 6 secondes, la priorité est redonnée au tramway.

TMJA = 10 490 véh / jour  
HPM = 690 véh / heure  
HPS = 640 véh / heure



TMJA = 8900 véh / jour  
HPM = 540 véh / heure  
HPS = 560 véh / heure

*Illustration 10: Données de trafic du carrefour Nantes – Château*

*(source : Nantes Métropole)*

## Accidentologie

Deux accidents corporels sont survenus entre 2009 et 2014 sur la rue de Strasbourg. Le premier est une collision entre un VL et un piéton, survenue sur la rue de Strasbourg, en amont du carrefour. Le second est une collision entre un VL et une moto, survenue au niveau du carrefour giratoire, situé au Sud du carrefour étudié.

Les deux accidents corporels ne semblent pas directement liés aux feux ni au passage du tramway.



Illustration 11: Accidents survenus sur le carrefour Strasbourg - Château entre 2009 et 2014 (source : Nantes Métropole)

## Étude des comportements

Le carrefour a été filmé plusieurs mardi et jeudi sur les périodes 7h-10h et 16h-19h. L'analyse de 15h de vidéo nous donne les résultats suivants :

Temps de vert moyen	Temps de rouge moyen	Temps de rouge max	Nombre de dépassement des 120s par heure
17	42	99	0

Avec un temps de rouge moyen de 42 secondes, il s'agit d'un cheminement piéton bénéficiant de conditions de traversée confortables.

Le comportement d'environ 750 piétons a été analysé. L'angle de la caméra ne permettait pas d'observer les zones d'attente des piétons de chaque côté de la traversée. Les piétons n'ont donc été comptés que dans un sens (centre-ville vers gare).

Environ 58 % des piétons traversent immédiatement au rouge<sup>2</sup>. A l'inverse, 27 % des piétons arrivant pendant le rouge font le choix d'attendre le vert.

Les taux de franchissement de rouge par les piétons et les cyclistes sont relativement proches.

	Nb piétons	Rouge	Attend puis rouge	Attend vert (choix)	Attend vert (aucun créneau)
Piétons	753	57,6%	6,1%	27,2%	9,0%
Cyclistes	200	54,5%	6,0%	20,0%	19,5%

2 La méthodologie employée pour caractériser les comportements des piétons est détaillée en partie 3.2.



## 4.4. Nantes Pirmil

### Plan

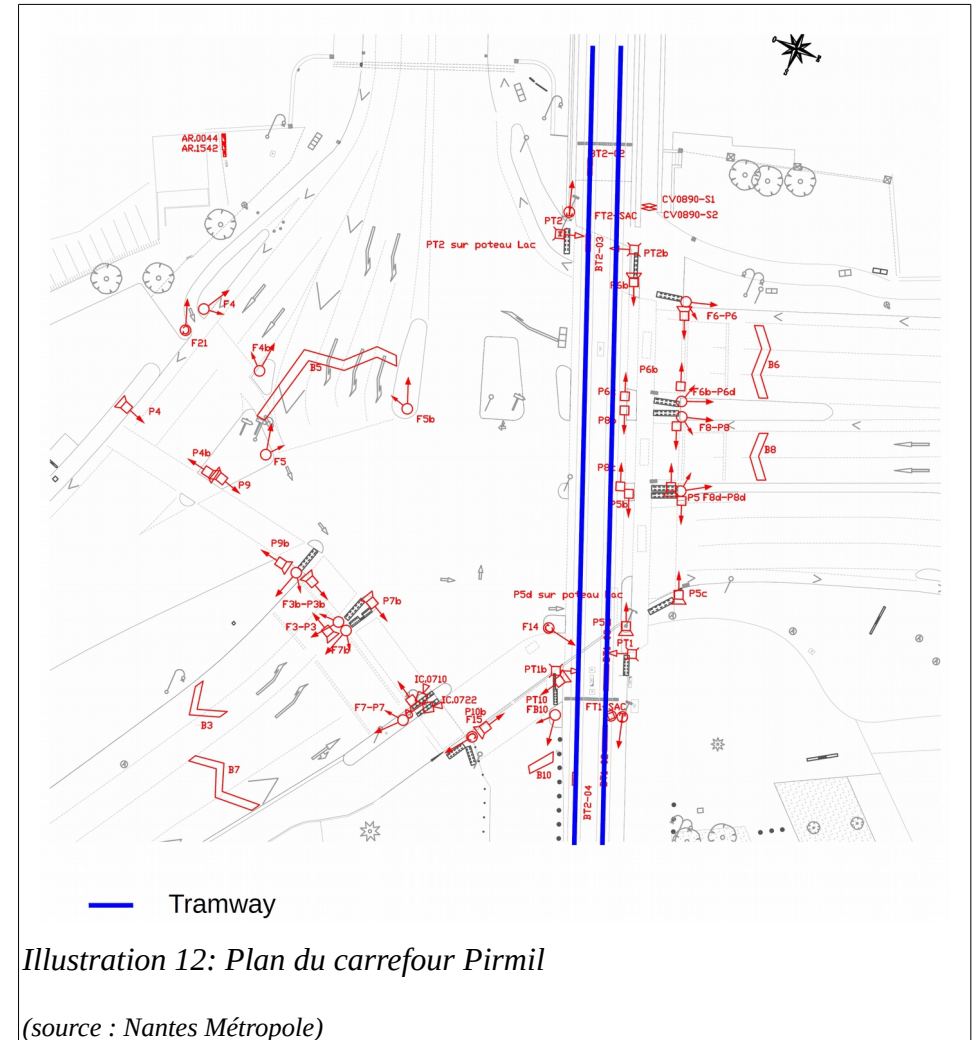
Le carrefour Pirmil est un carrefour complexe et vaste. Les lignes de tramway 2 et 3 présentent un tronç commun, et traversent le carrefour.

Au Nord, le tramway traverse la Loire, sur un pont d'environ 250 mètres.



Illustration 13: Photo du carrefour Pirmil

(source : Google StreetView)





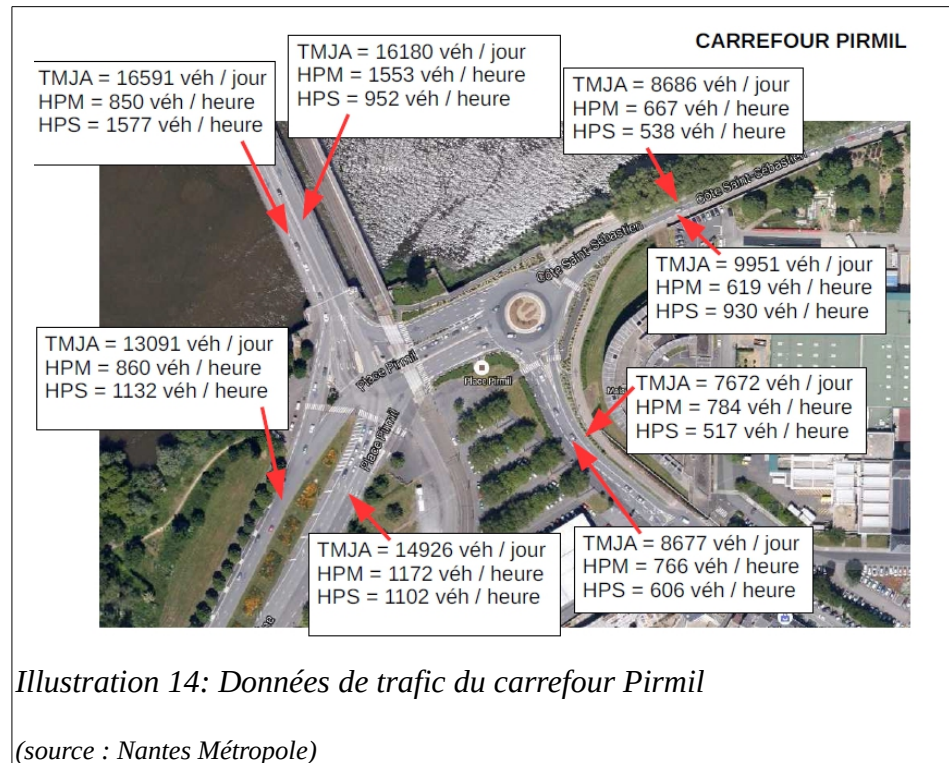
### Trafics et offre TC

En 2016, les fréquences HP par sens sont :

- Tramway Ligne 2 : 7 minutes ;
- Tramway Ligne 3 : 7 minutes.

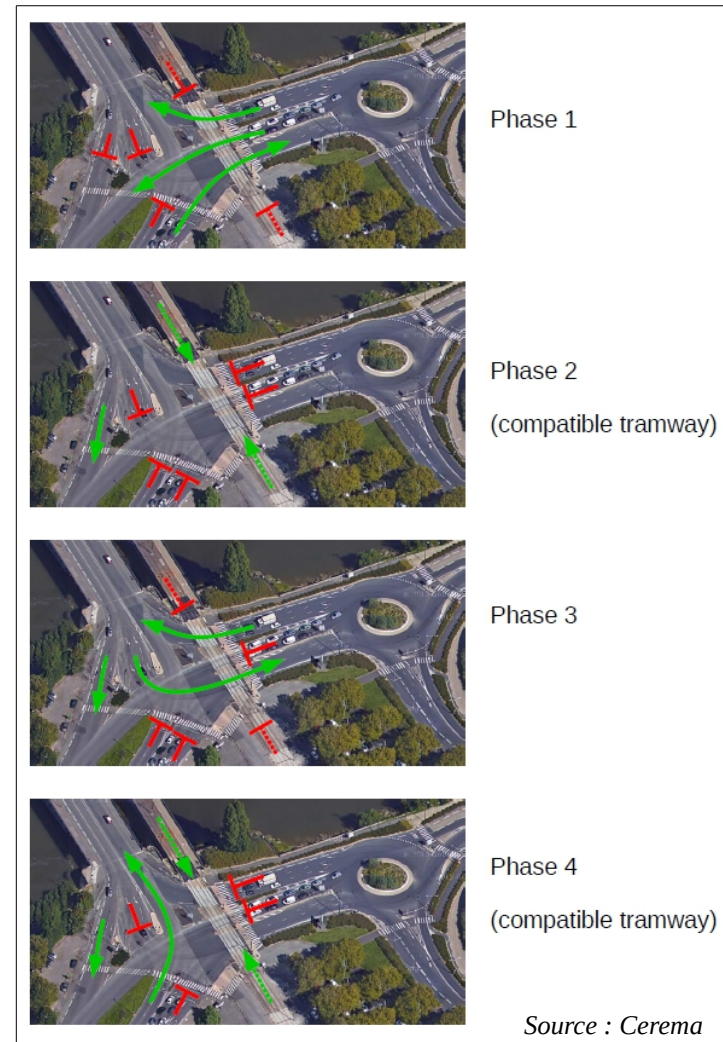
34 tramways franchissent le carrefour par heure, soit 1 tram toutes les 106 secondes.

Un trafic particulièrement important provient du pont Pirmil au Nord et de la rue Dos d'âne au Sud-Ouest.



### Phasage

Le cycle se déroule en 4 phases, dont 2 phases compatibles avec le passage du tramway. Le phasage complet est décrit ci-dessous :



## Plan de feux et temps d'attente théoriques

Le cycle théorique dure 102 secondes. En fonction des arrivées de tramway, et du temps de traversée réel du carrefour par le tramway, ce plan de feu théorique peut être dilaté, et les temps d'attente peuvent donc être allongés.

### Type de priorité TC

A Nantes, les tramways bénéficient d'une priorité relative. Dans le cas du carrefour Pirmil, les temps d'attente pourraient parfois atteindre 120 secondes. En cas de risque d'atteinte de 120 secondes de rouge sur une ligne de feu, les tramways sont ralentis afin de donner le vert à la ligne de feu concernée. Après un temps de vert de 6 secondes, la priorité est redonnée au tramway.

### Accidentologie

Les accidents survenus sur le carrefour sont décrits ci-dessous :

- PV 29640 : Deux véhicules se percutent sur la même voie. Un conducteur est légèrement blessé.
- PV 03735 : Un automobiliste circule et percute un élément extérieur. Il est légèrement blessé.
- PV 21967 : Un 2RM dépasse par la droite et percute un car. Le conducteur du 2RM est légèrement blessé.
- PV 36874 : Un tramway percute un piéton, légèrement blessé.
- PV 14027 : Un véhicule heurte un piéton dont l'ivresse est apparente, sur la chaussée à moins de 50m d'un passage piéton. Le piéton est blessé et hospitalisé.

Ces accidents ne semblent, a priori, pas directement liés au temps d'attente au feu.

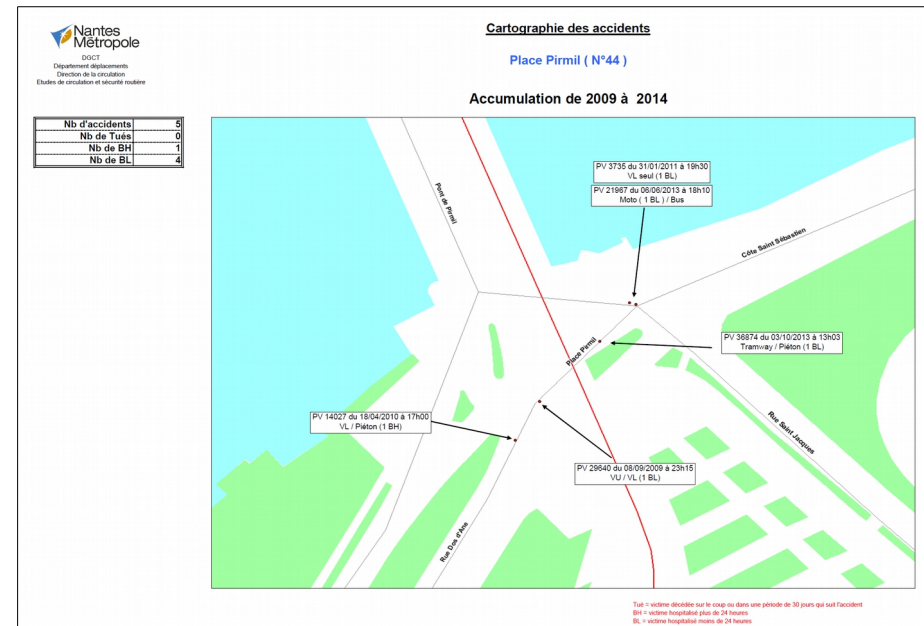


Illustration 15: Accidents survenus sur le carrefour Pirmil entre 2009 et 2014

(source : Nantes Métropole)

## Analyse des temps perdus

Le carrefour a été filmé plusieurs mardi et jeudi sur les périodes 7h-10h et 16h-19h. L'analyse de 24h de vidéo nous donne les résultats suivants :

- Les temps de traversée du carrefour par le tramway ont été définis comme le temps nécessaire pour parcourir le trajet d'un point A (approche) à un point B (sortie complète du carrefour). Les points A et B ont été placés en fonction de l'angle de la caméra. Ils sont distants d'environ 150 mètres.
- Le temps moyen de traversée du carrefour est de 24 secondes.
- Le temps minimum de traversée est de 17 secondes.
- Le temps maximum de traversée est de 94 secondes.
- Le tramway s'est arrêté en pied de feu 82 fois en 24 heures. Chaque arrêt dure en moyenne 12 secondes. Au total, ces 82 arrêts représentent 1055 secondes perdues, soit 17,5 minutes.
- Les arrêts en pied de feu à ce carrefour représentent une perte de temps moyenne de 44 secondes par heure pour le tramway. Ce chiffre, moyenné sur le nombre de tramway traversant le carrefour, est relativement faible.
- Les conducteurs adaptent leur vitesse et ralentissent fréquemment en approche du carrefour, sans pour autant s'arrêter. Cela représente une perte de temps de quelques secondes.

Les temps perdus par le tramway sont détaillés ci-contre.

Créneau	Temps moyen traversée	Temps min traversée	Temps max traversée	Nombre d'arrêts	Temps d'arrêts moyen	Temps perdu total
Mardi 1 matin	24	17	94	6	19	112
Mardi 1 a-m	24	17	61	12	12	141
Jeudi 1 matin	25	17	70	11	14	156
Jeudi 1 a-m	24	17	47	11	10	115
Mardi 2 matin	23	17	47	6	11	65
Mardi 2 a-m	24	18	45	6	7	50
Jeudi 2 matin	23	16	46	11	9	99
Jeudi 2 a-m	23	18	75	19	17	317

Une analyse complémentaire a été réalisée. La ligne de feux présentant les temps d'attente les plus longs est la ligne de feux F8 ; il s'agit du mouvement tout droit venant du giratoire et donné pendant la phase 1 (voir phasage présenté précédemment). La plupart du temps, quand un tramway s'arrête en pied de feu, c'est cette phase 1 qui est donnée.

Pour chaque arrêt de tramway, le temps de rouge atteint sur cette ligne de feu a été étudié, afin de savoir si l'arrêt du tramway est dû à un temps d'attente proche de 120 secondes, ou dû à une autre raison (par exemple un tramway qui aurait raté sa phase à cause d'un ralentissement).

Cette analyse a montré que sur 40 arrêts de tramway étudiés, seuls 5 sont dus à un temps d'attente atteignant 120 secondes, soit 12,5 % des arrêts.

Le respect de la règle des 120 secondes implique donc une perte de temps pour les TC qui s'avère relativement faible, à hauteur d'environ 5,5 secondes perdues par heure. Sur ce carrefour, l'impact du respect de la règle est faible par rapport aux autres difficultés d'exploitation.



## 4.5. Metz Boileau

### Plan

Le carrefour Boileau - Thionville est un carrefour en croix, traversé par la ligne de BHNS Mettis A. Le BHNS circule sur un site propre axial au Sud, puis tourne au niveau du carrefour vers l'Est. Une station Mettis est située au Sud en amont du carrefour.

Sur la rue Boileau, côté Est, la voie bus est dans un sens en site propre (vers l'Ouest) et dans l'autre sens en site banal (vers l'Est). Les voitures allant vers l'Est sont donc autorisées à y circuler.

L'entrée notée 0 (en bas à droite sur le plan ci-dessous) est en conflit direct avec le Mettis. C'est cette voie qui a été étudiée par vidéo.

Les véhicules venant du Nord et souhaitant emprunter le site banal de la rue Boileau doivent également franchir la voie Mettis et sont donc également en conflit avec lui.



Illustration 16: Photo du carrefour Boileau - Thionville

(source : Google StreetView)

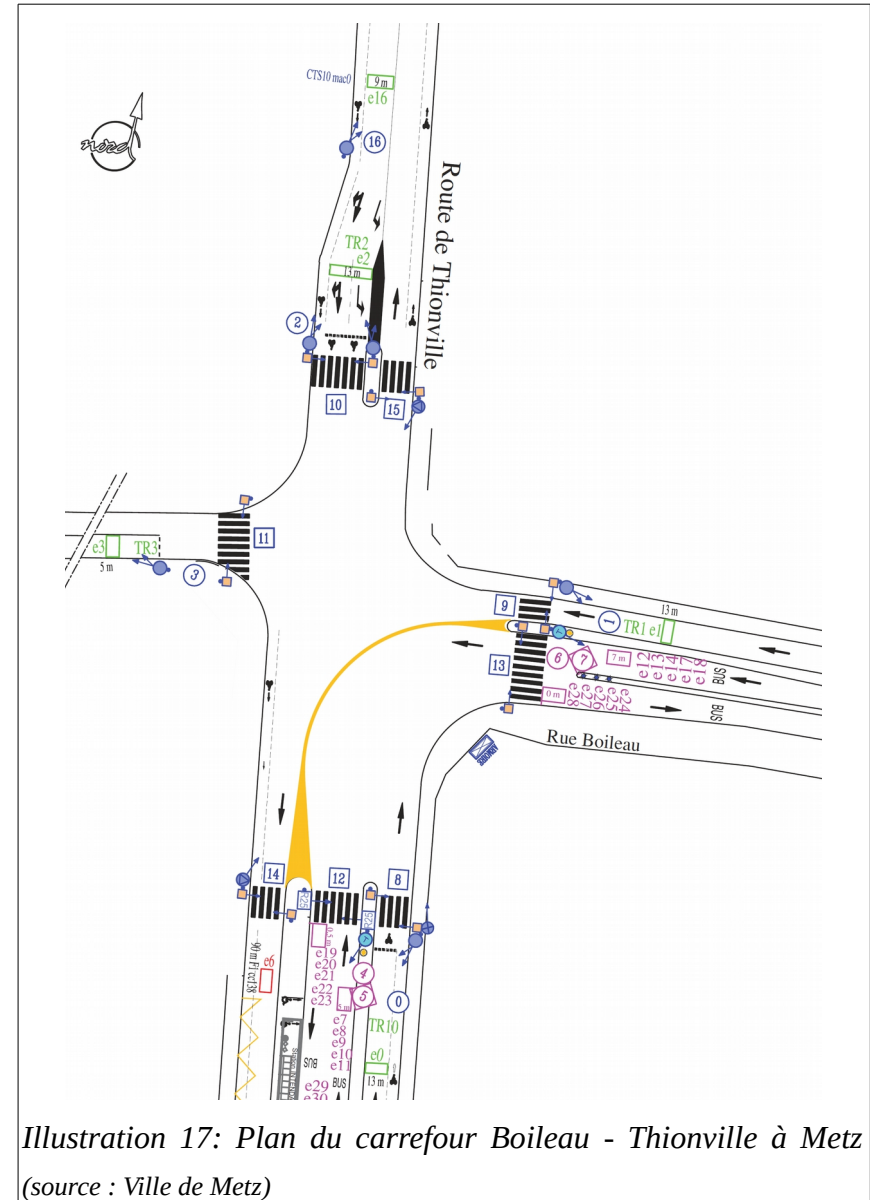


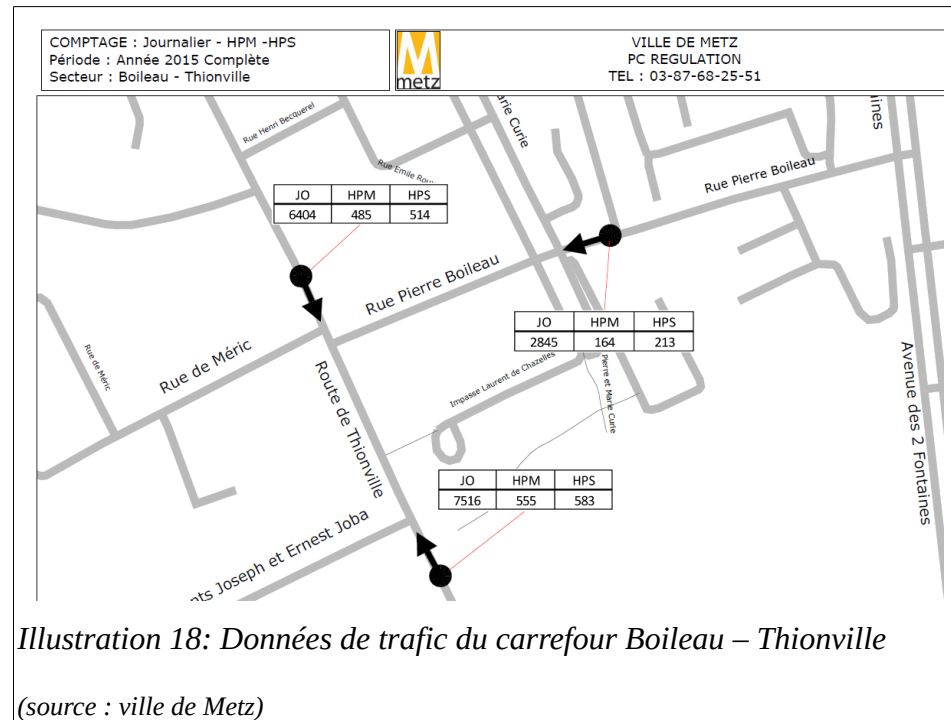
Illustration 17: Plan du carrefour Boileau - Thionville à Metz

(source : Ville de Metz)

### Trafics et offre TC

En 2015, la fréquence HP de la ligne de BHNS Mettis A est de 10 minutes pour chaque sens, soit 12 BHNS qui franchissent le carrefour par heure.

Les niveaux de trafic VL sont précisés sur l'illustration suivante.



### Phasage

Ce carrefour en croix fonctionne de manière relativement classique, en 2 phases + 1 phase BHNS.

La première phase est donnée aux lignes de feux 0 et 2 (voir plan du carrefour), c'est-à-dire les deux côtés de la route de Thionville. La seconde phase donne le vert aux lignes de feux 1 et 3, à savoir les deux côtés de la rue Boileau.

Lorsqu'un BHNS est détecté, une phase spéciale TC est donnée. Comme le BHNS effectue un mouvement tournant dans le carrefour, il est en conflit direct avec les lignes de feux 0, 2 et 3. Pendant la phase spéciale TC, toutes les entrées du carrefour sont au rouge.

### Type de priorité TC

Les BHNS des lignes Mettis ont systématiquement priorité aux carrefours. Le réseau comporte 2 lignes, dont la fréquence est de 10 minutes en heure de pointe. Un carrefour est donc, au maximum, traversé par un BHNS toutes les 2 minutes 30. Cette fréquence permet, grâce à l'optimisation des plans de feux, de ne pas atteindre des temps d'attente de 120 secondes.

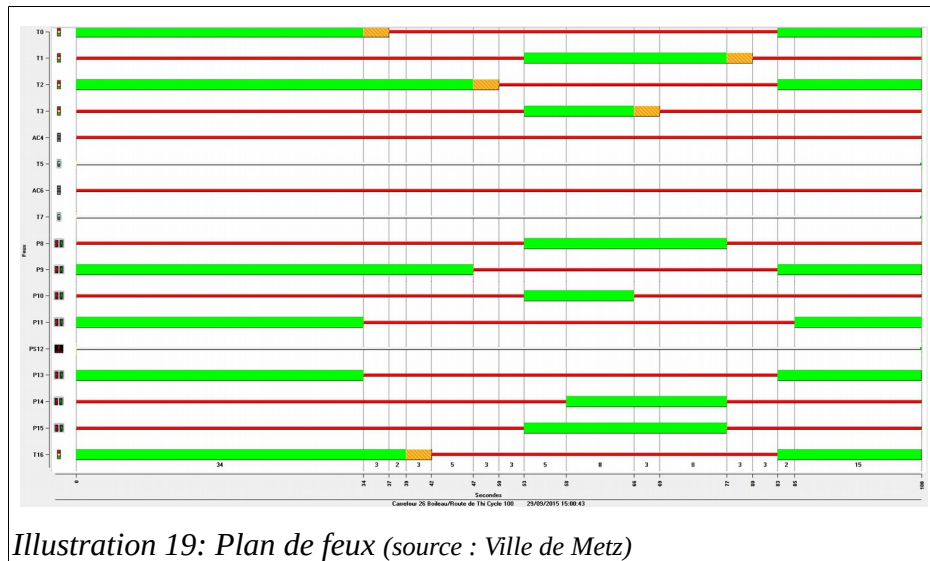
Sur le carrefour Boileau – Thionville, les temps d'attente n'atteignent jamais 120 secondes.

### Plan de feux et temps d'attente théoriques

Le plan de feu est détaillé ci-dessous. Les deux phases se distinguent clairement.

Les phases spéciales TC ne sont pas représentées sur ce plan de feu. Il s'agit des lignes 4 et 6, qui restent au rouge pendant toute la durée du plan de feux.

La durée théorique du cycle (sans phase TC) est de 100 secondes.



### Accidentologie

Il n’y a pas eu d’accident sur ce carrefour entre 2010 et 2015.

### Étude des comportements

Le carrefour a été filmé plusieurs mardi et jeudi sur les périodes 7h-10h et 16h-19h. L’analyse de 18h de vidéo nous donne les résultats suivants :

Temps de vert moyen	Temps de rouge moyen	Temps de rouge max	Nombre de dépassement des 120s par heure
53	41	105	0

Le tableau suivant recense les passages au feu rouge observés pendant les 18h de vidéos.

Environ 0,30 % des véhicules passent au rouge. La grande majorité de ces véhicules accélère au jaune et franchit le rouge pendant la première seconde. Aucun franchissement n’a été observé après plus de 3 secondes de rouge.

2 % des 2 roues motorisés et 30 % des cyclistes passent au rouge. Les comportements sont très différents des automobilistes. Les 2RM et cyclistes s’arrêtent, observent puis franchissent le feu rouge. Ces chiffres sont basés sur des échantillons plus faibles, ils doivent donc être traités avec prudence.

	Trafic	Passages au rouge	Dont Rouge seconde 1	Dont Rouge seconde 2	Dont Rouge seconde 3	Dont Rouge seconde > 4
VL	9590	28	21	5	2	0
Pourcentage VL		0,29%				
2RM	99	2				2
Pourcentage 2RM		2,02%				
Cyclistes	47	14				14
Pourcentage Cyclistes		29,8%				

## 4.6. Metz Foch

### Plan

Il s'agit d'un carrefour situé entre la gare ferroviaire et le centre-ville de Metz. La gare est située environ 100 mètres au Sud du carrefour, tandis que le centre-ville est situé au Nord. De nombreux piétons franchissent donc ce carrefour au niveau de la traversée identifiée sur le plan ci-contre. Cette dernière fait l'objet de l'étude des comportements par vidéo. La traversée étudiée est visible sur la photo suivante. Elle franchit 3 voies dédiées aux véhicules et mesure entre 8 et 9 mètres.



Illustration 20: Photo du carrefour Foch - Curel (source : Google StreetView)

Ce carrefour peut être divisé en plusieurs sous-carrefours relativement indépendants. Le sous-carrefour étudié se trouve au croisement de la rue François de Curel (au Sud), de l'avenue Foch (axe Ouest vers Est), et de la rue Charlemagne.

L'avenue Foch est un axe supportant un trafic important, limité à 50 km/h.

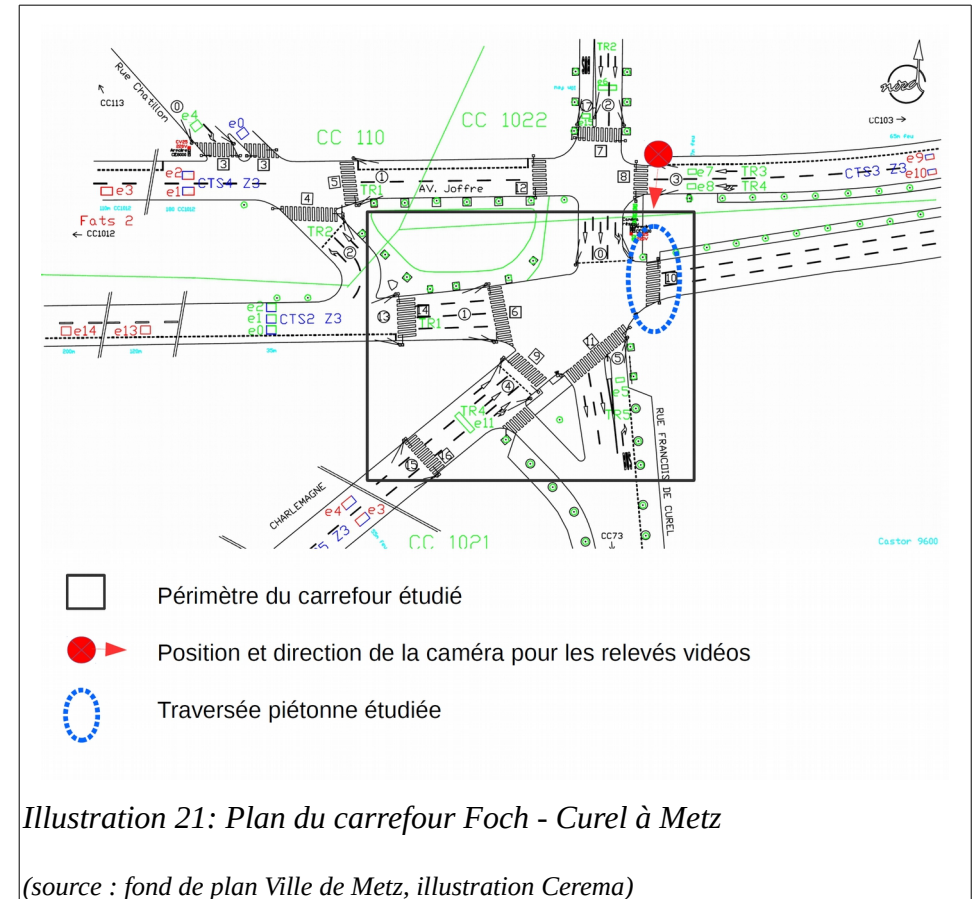


Illustration 21: Plan du carrefour Foch - Curel à Metz

(source : fond de plan Ville de Metz, illustration Cerema)

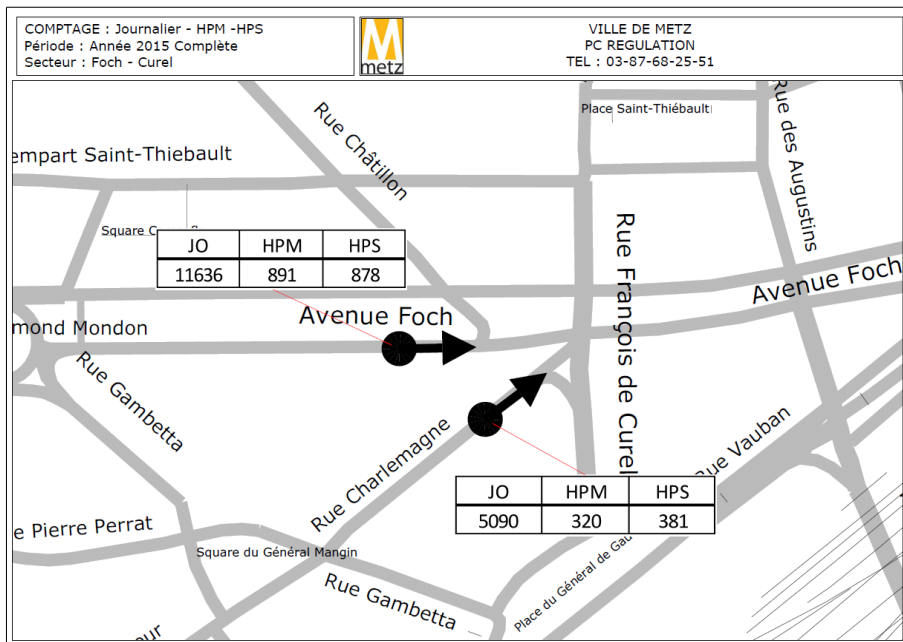


### Traffics et offre TC

Ce carrefour est traversé par des lignes de bus, mais il n'est pas sur le tracé des lignes BHNS Mettis.

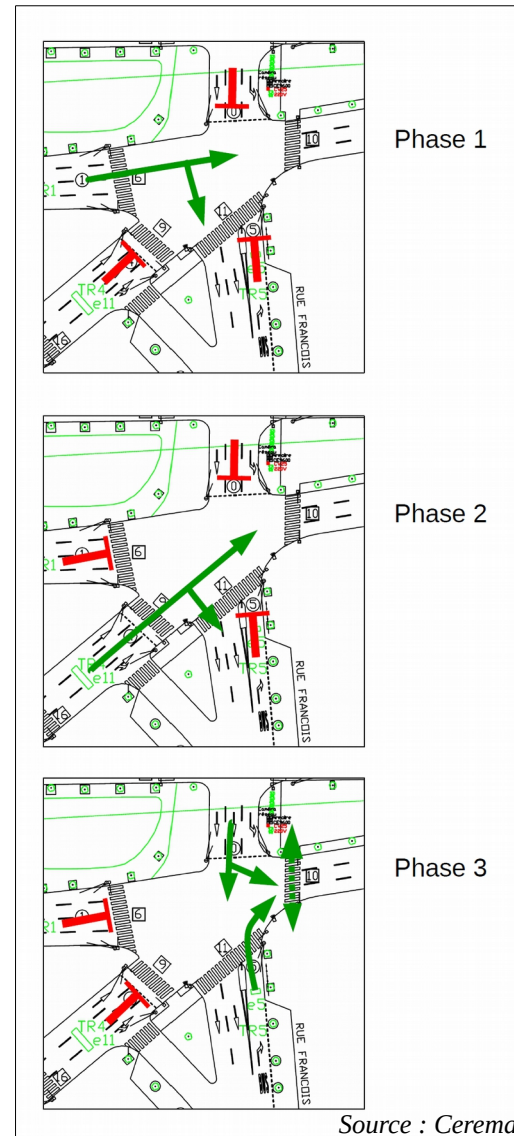
Les flux piétons sont très importants. Ils ont été comptés lors de l'analyse des vidéos. Ces flux sont décrits dans la partie dédiée à l'étude des comportements des piétons.

Les trafics VL sur l'avenue Foch et sur la rue Charlemagne sont les suivants :



### Phasage

Le carrefour fonctionne en 3 phases, comme représenté sur l'illustration suivante. La traversée piétonne est au vert pendant la phase 3, elle est donnée en même temps que la voie bus de la rue Curel qui tourne à droite, et que les véhicules provenant du Nord et tournant à gauche.





### Plan de feux et temps d'attente théoriques

Le cycle théorique dure 100 secondes. Aucun TC avec priorité ne traverse ce carrefour. Le temps de cycle peut toutefois évoluer, en fonction des logiques de régulation en temps réel.

La traversée piétonne étudiée (notée P10), bénéficie de 9 secondes de vert.

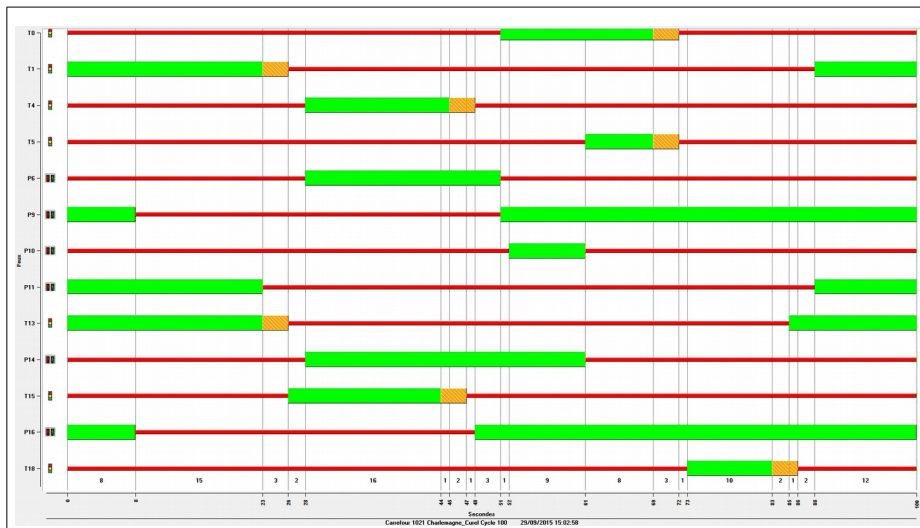


Illustration 22: Plan de feux

(source : Ville de Metz)

### Accidentologie

Quatre accidents corporels sont survenus sur les 5 dernières années sur le carrefour Foch – Curel.

PV n°44 : une automobiliste alcoolisée percute deux autres véhicules, causant 6 blessés légers.

PV n°5 : de nuit, par temps de neige, un automobiliste circule sur l'avenue Foch et percute un piéton en amont du passage piéton. Le piéton est blessé et hospitalisé.

PV n°56 : un automobiliste alcoolisé percute un autre véhicule sur l'avenue Foch.

PV n°112 : de jour, par temps de pluie, une automobiliste percute un piéton aux abords du passage piéton étudié. Le piéton est blessé et hospitalisé.

Les PV 44 et 56 impliquent un usager alcoolisé et ne concernent pas les feux ni les temps d'attente.

Les deux autres accidents (PV 5 et 112) sont des collisions entre VL et piétons, qui pourraient être liées à une traversée au rouge d'un piéton.

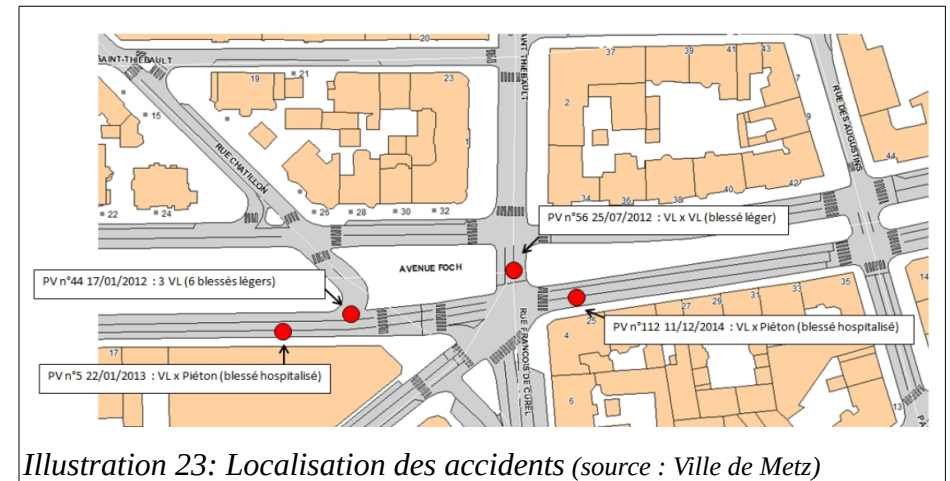


Illustration 23: Localisation des accidents (source : Ville de Metz)

## Étude des comportements

Le carrefour a été filmé plusieurs mardi et jeudi sur les périodes 7h-10h et 16h-19h. Le temps de vert offert aux piétons (9 secondes) est faible comparé aux temps d'attente. L'analyse de 12h de vidéo nous donne les résultats suivants :

Temps de vert moyen	Temps de rouge moyen	Temps de rouge max	Nombre de dépassement des 120s par heure
9	88	113	0

Le comportement d'environ 4300 piétons a été analysé. Environ 80 % des piétons traversent au rouge<sup>3</sup>. À l'inverse, 11 % des piétons arrivant pendant le rouge font le choix d'attendre le vert. 9 % des piétons montrent leur volonté de traverser, mais les créneaux disponibles entre les véhicules ne leur permettent pas de tenter la traversée.

	Nb piétons	Rouge	Attend puis rouge	Attend vert (choix)	Attend vert (aucun créneau)
Piétons	4347	78,2%	2,0%	10,9%	8,9%
Cyclistes	53	86,8%	1,9%	7,5%	3,8%

3 La méthodologie employée pour caractériser les comportements des piétons est détaillée en partie 3.2.

## 4.7. Lyon Pasteur

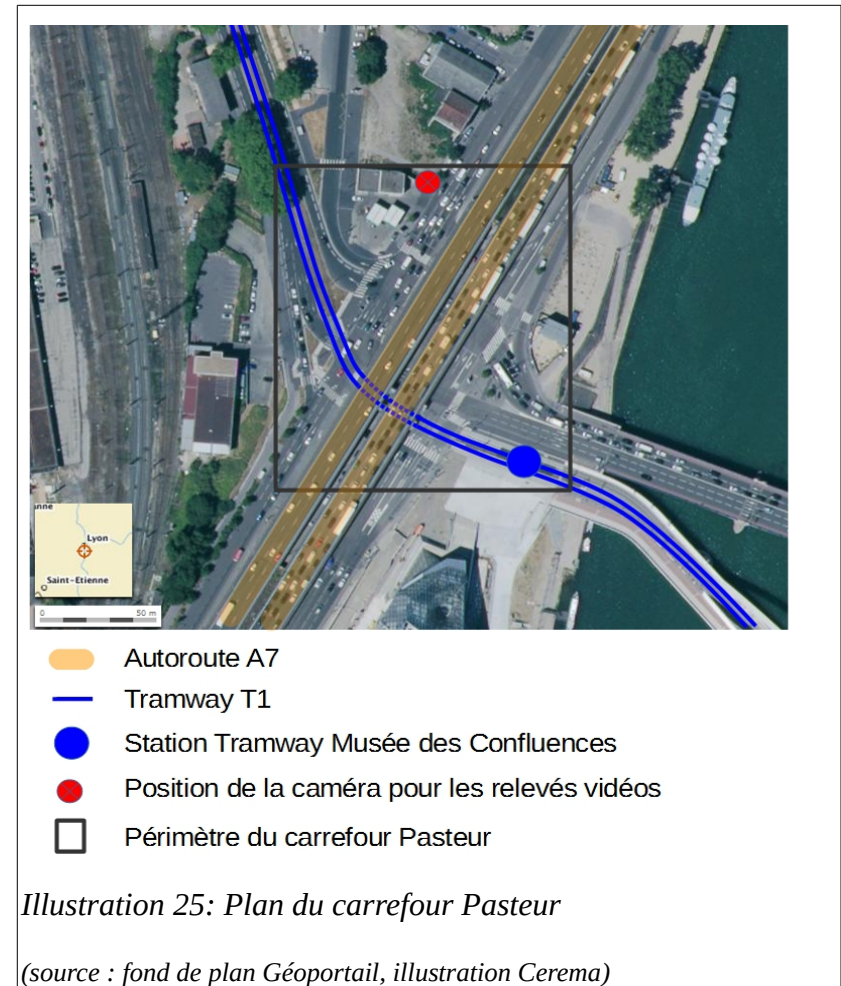
### Plan

Le carrefour Pasteur a la particularité d'être très vaste et d'être situé de part et d'autre de l'autoroute A7. Le carrefour étudié est en fait situé sous l'autoroute (voir photo suivante). Ce carrefour est également traversé par la ligne de tramway T1, au niveau de la station Musée des Confluences.

La mise en service du prolongement de la ligne T1 date du 19 février 2014, après plus d'un an de travaux.



Illustration 24: Photo du carrefour Pasteur (source : Cerema)



Le carrefour à feux présente 4 entrées. Les entrées notées 6 et 20 sur le plan suivant sont directement alimentées par les véhicules sortant de l'autoroute. Les entrées notées 12 et 27 correspondent à l'axe parallèle à la ligne de tramway.

A cela s'ajoute un système de sas (feux 3, 8, 14 et 15), permettant de stocker les véhicules, en particulier pour les mouvements de tourne-à-gauche. Le carrefour est particulièrement vaste.

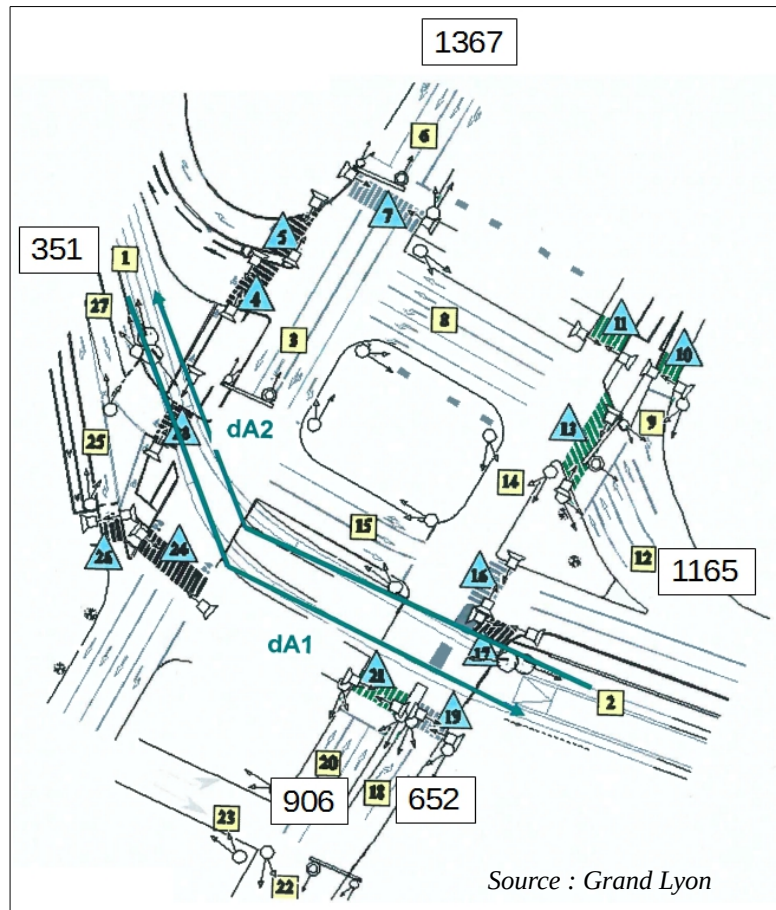


### Traffic et offre TC

En 2015, la fréquence HP de la ligne de tramway T1 est de 6 minutes par sens, soit 20 tramways qui franchissent le carrefour par heure.

Les flux piétons sont relativement faibles sur le carrefour.

Les trafics pour chacune des 4 entrées, à l'heure de pointe du matin, sont présentés sur le plan ci-contre. En particulier, on observe 1367 véhicules/heure répartis sur les 4 voies en provenance du Nord.



### Phasage

Le plan de feux du carrefour présente 4 phases distinctes, notées S0, S1, S2 et S3, et illustrées sur la figure ci-dessous.

Les trois phases illustrées sur la gauche, encadrées en rose et notées TS0, TS1 et TS3, sont les phases spéciales tramway.

Si un tram est détecté et se présente pendant la phase S0, c'est la phase TS0 qui est donnée. Ensuite, le contrôleur du carrefour bascule sur la phase S1. Cet enchaînement des phases est représenté par les flèches.

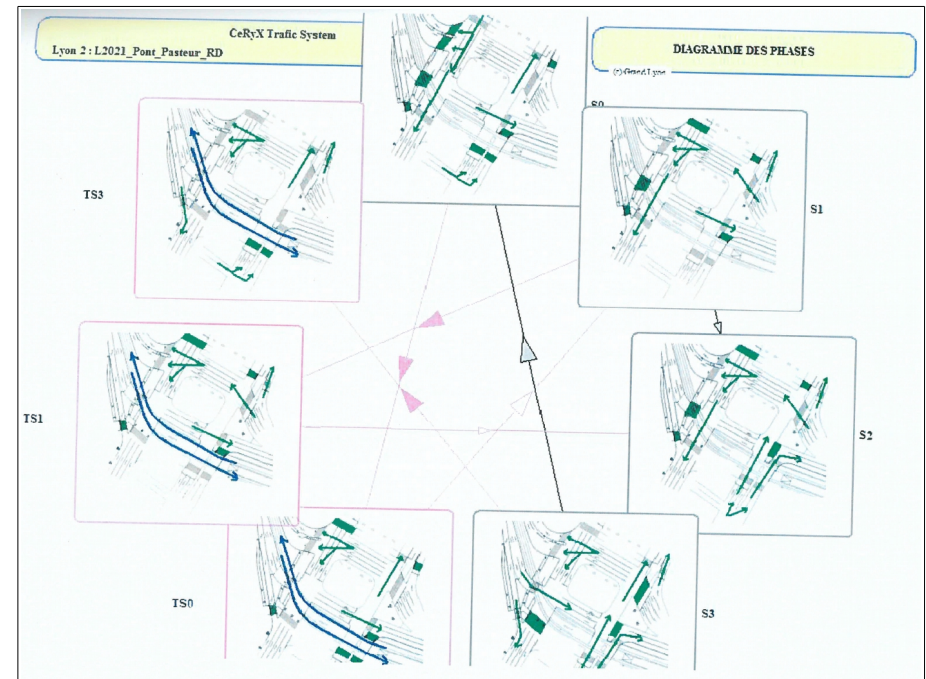


Illustration 26: Phasage du carrefour Pasteur (source : Grand Lyon)

## Type de priorité TC

Le tramway a priorité aux carrefours. En cas de dépassement des 120 secondes sur une ligne de feux, le tramway conserve sa priorité. Toutefois, les temps d'attente sont limités à 160 secondes. Si 160 secondes de rouge sont atteintes sur une ligne de feu, le tramway perd alors sa priorité et doit s'arrêter en pied de feu. Ce cas se produit très rarement.

## Plan de feux et temps d'attente théoriques

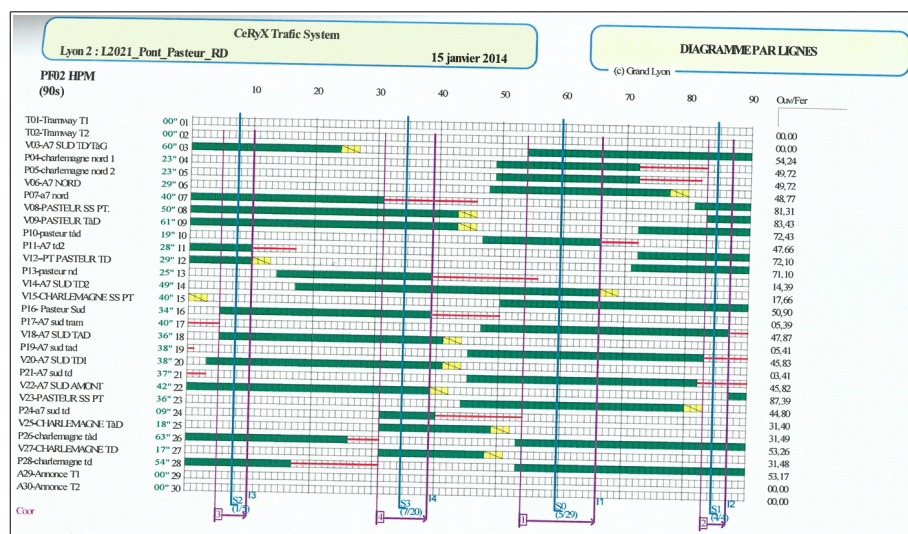


Illustration 27: Plan de feux du carrefour Pasteur (source : Grand Lyon)

Le plan de feux théorique, communiqué par le gestionnaire de voirie, est présenté ci-dessous. Il s'agit du plan de feux donné à l'heure de pointe du matin. Le plan de feux théorique ne présente pas l'insertion des phases spéciales tramway, puisqu'elles peuvent survenir à différents instants. Ce plan de feux est basé sur un cycle de 90 secondes. Il présente donc des temps d'attente relativement courts (inférieurs à 80 secondes). En fonction de l'arrivée des tramways, et du temps de traversée du carrefour par le tramway, ce cycle théorique va être allongé. Les temps d'attente seront donc augmentés, et dépasseront par moment la limite des 120 secondes.

## Accidentologie

Le carrefour a été en travaux en 2013. La mise en service du prolongement de la ligne de tramway T1 qui traverse ce carrefour date du 19 février 2014. Nous nous sommes donc intéressés aux accidents survenus sur le carrefour tel qu'il est aménagé aujourd'hui.

Deux accidents corporels sont survenus en 2014 (après le 19 février) :

- Collision entre deux véhicules survenue à 1h45 le matin. Un automobiliste en état d'ébriété heurte une bordure de trottoir et un autre véhicule au niveau du quai Perrache, causant un blessé léger. C'est accident ne semble pas lié au temps d'attente au feu.
- Collision par le côté entre une automobile et un 2RM, survenue en journée (13h). Le conducteur du 2RM est blessé léger.

Le premier accident n'est pas lié aux temps d'attente. La précision des informations obtenues sur le second accident ne nous permettent pas de conclure sur un éventuel impact des temps d'attente.

Aucun accident corporel n'est survenu sur ce carrefour en 2015.

## Étude des comportements

Le carrefour a été filmé sur les périodes 7h-10h et 16h-19h. L'analyse de 12h de vidéo nous donne les résultats suivants :

Temps de vert moyen	Temps de rouge moyen	Temps de rouge max	Nombre de dépassement des 120s par heure
32	87	142	3,8

Le tableau suivant recense les passages au feu rouge observés pendant les vidéos.

Sur plus de 11 000 véhicules étudiés, environ 1,3 % des automobilistes passent au rouge. La majorité de ces véhicules accélère au jaune et franchit le rouge pendant la première seconde.

5 démarrages en milieu de rouge ont été observés. Les véhicules arrêtés au rouge ne sont en conflit qu'avec les véhicules provenant de leur gauche. Un second feu est situé 50m en aval, aux abords des voies du tramway. Ainsi l'automobiliste regarde à sa gauche, vérifie qu'aucun véhicule n'arrive, franchit le feu rouge et progresse jusqu'au feu suivant.

Les pourcentages de franchissement de rouge sont similaires pour les 2RM et les poids-lourds. Les pratiques sont toutefois différentes, puisque tous les 2RM concernés ont démarré au rouge.

	Trafic	Passages au rouge	Dont Rouge seconde 1	Dont Rouge seconde 2	Dont Rouge seconde 3	Démarrage au rouge
VL	11280	145	121	11	8	5
Pourcentage VL		1,29%				
2RM	229	3	0			3
Pourcentage 2RM		1,31%				
PL et bus	568	7	7			
Pourcentage PL et bus		1,23%				

## 4.8. Strasbourg Landsberg

### Plan

Trois lignes de tramway (C, D, E) se croisent au niveau du carrefour Landsberg.  
Les 4 entrées du carrefour présentent une interdiction de tourner à gauche.

### Trafics et offre TC

Les entrées du carrefour présentent les trafics suivants :

Comptages (tous véhicules)	Vh / jour	HPM	HPS
Rue du Landsberg	4510	160	390
Avenue Jean Jaurès (vers l'Est)	3280	140	260
Avenue Jean Jaurès (vers l'Ouest)	4830	420	420
Rue de Rathsamhausen	3196	162	271 </td

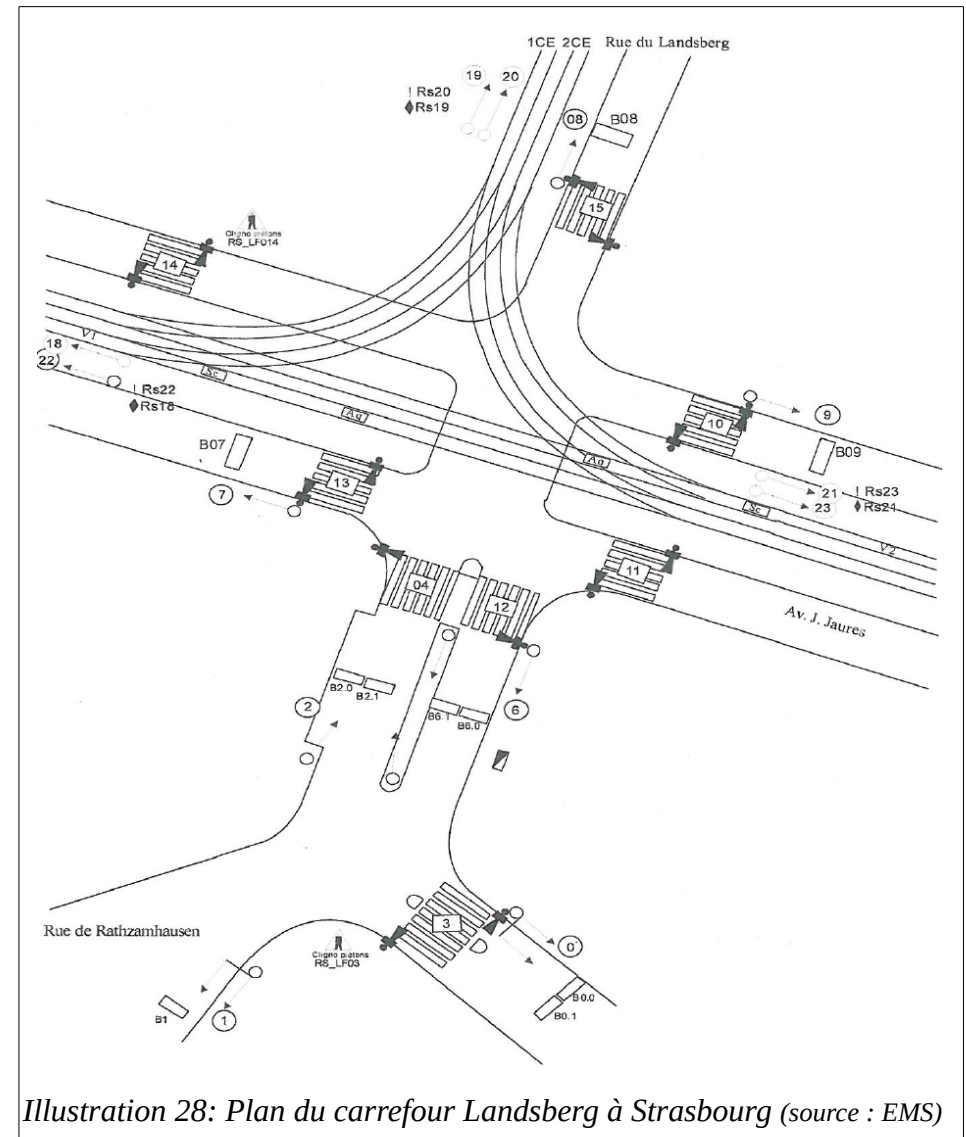


Illustration 28: Plan du carrefour Landsberg à Strasbourg (source : EMS)



En 2015, les fréquences HP par sens des 3 lignes de tramway concernées sont les suivantes :

- Tram C : 6 minutes ;
- Tram D : 7 minutes ;
- Tram E : 6 minutes.

57 tramways franchissent le carrefour par heure, soit un tramway toutes les 63 secondes.

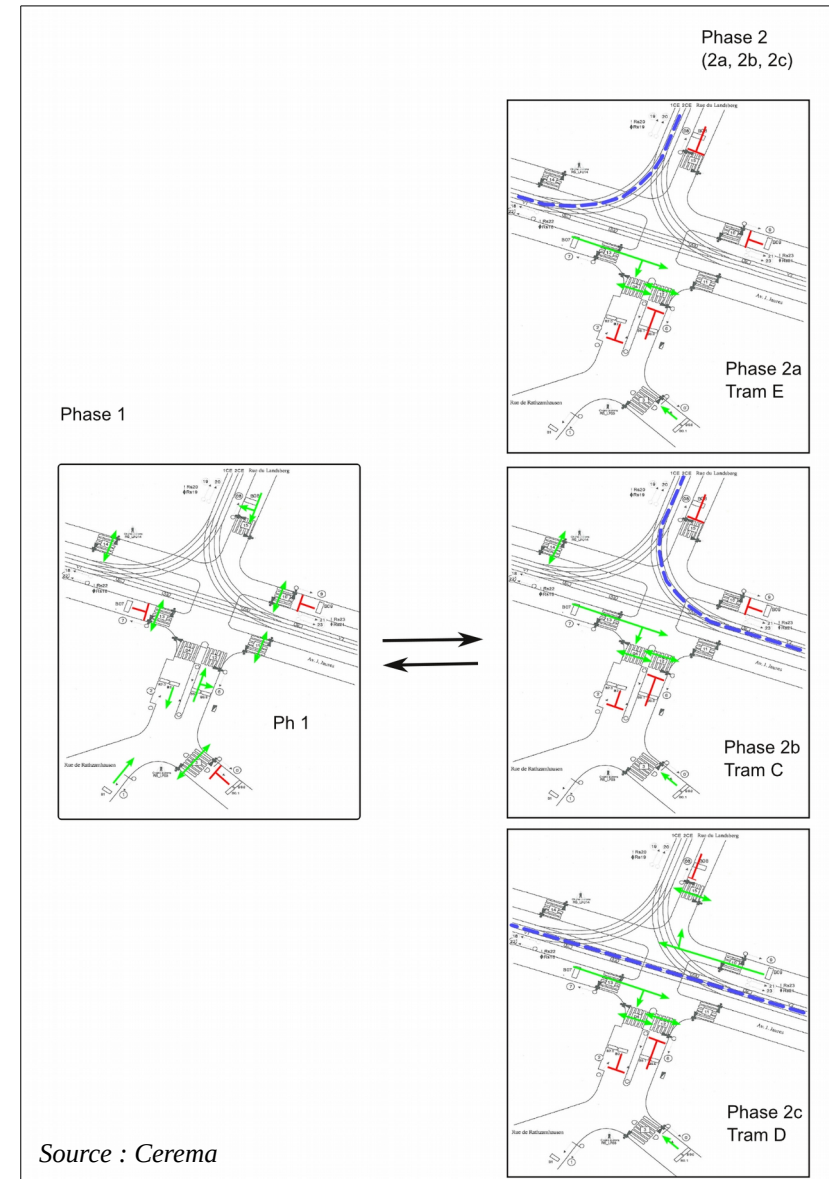
### Phasage

Le carrefour fonctionne en 2 phases. Dans la phase 2, tous les mouvements tram sont possibles. La phase 2 est légèrement adaptée, en fonction de la ligne de tram qui traverse le carrefour.

### Type de priorité TC

A Strasbourg, les tramways ont une priorité absolue aux carrefours. Le dépassement des 120 secondes n'a pas d'impact sur la priorité des tramways.

En particulier, la rue du Landsberg est au rouge pendant les phases tram, quelle que soit la ligne de tram traversant le carrefour. En cas d'arrivées successives de tramways, la rue du Landsberg peut donc être confrontée à un temps de rouge important.



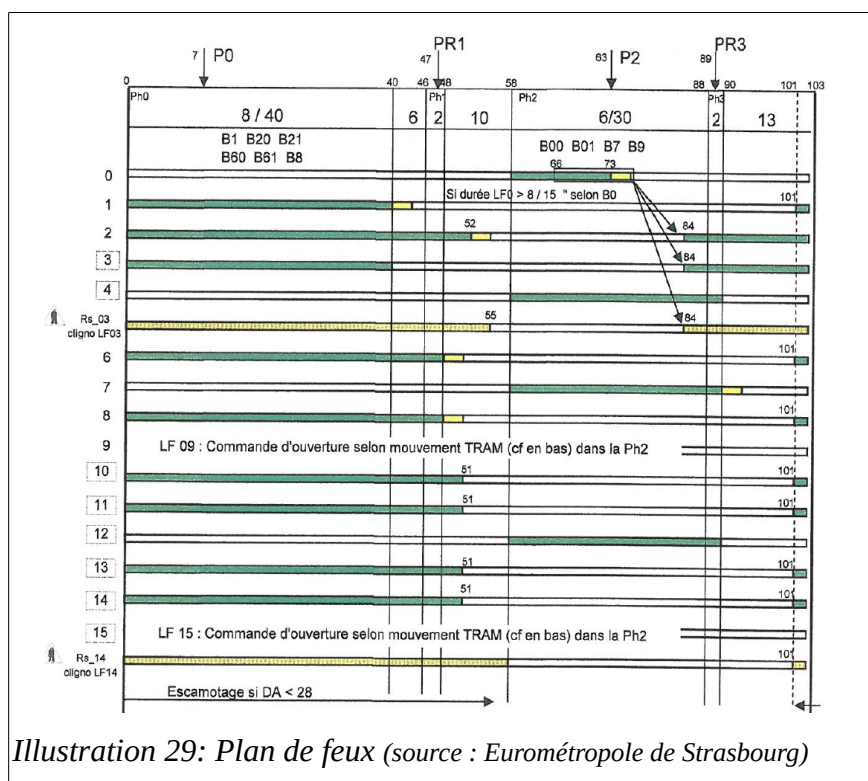


### Plan de feux et temps d'attente théoriques

Le carrefour est micro-régulé. Les numéros des lignes de feux sont placés sur le plan présenté précédemment.

La première phase bénéficie d'un temps de vert allant de 8 à 40 secondes. La durée de la phase dépend de la demande de trafic évaluée par les différentes boucles présentes sur les entrées du carrefour.

La seconde phase (phase tramway 2a, 2b ou 2c) dure théoriquement entre 6 et 30 secondes.



### Étude spécifique menée par la Communauté Urbaine de Strasbourg en 2013

Les dépassements des 120 secondes sont courants sur ce carrefour.

Le nombre moyen de dépassements des 120 secondes par jour est indiqué ci-dessous. La grandeur R représente le temps de rouge. Le nombre de dépassements et leur durée sont recensés pour chaque entrée du carrefour.

MOYENNE JOURNALIERE					
R < 150s	150s < R < 180s	180s < R < 210s	210s < R < 240s	240s < R < 300s	R > 300s
TOTAL					
80,2	32,8	21,4	12,6	11,6	2,2
BALE					
29,2	6,4	1	0,2	0,2	0
LANDSBERG					
43	25,8	20,4	12,2	11,4	2,2
JAURES					
8	0,6	0	0,2	0	0

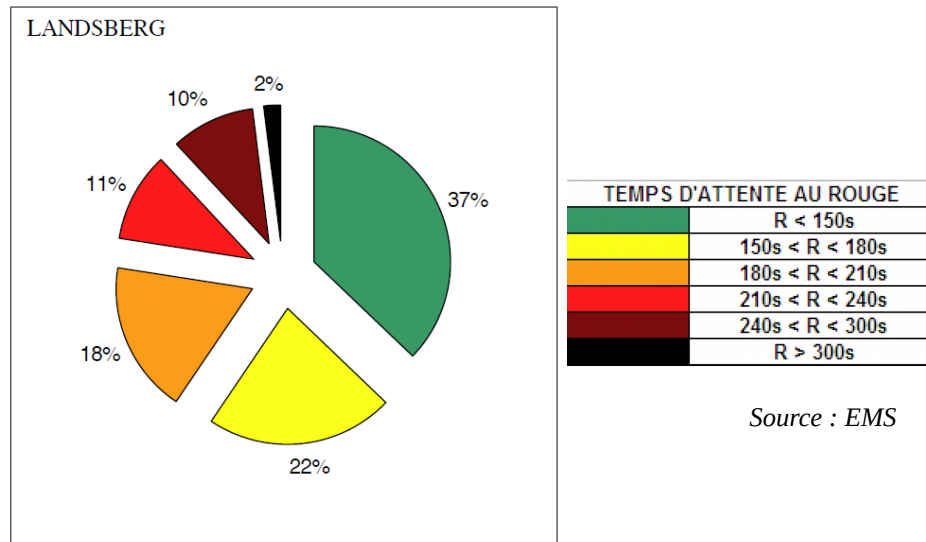
Source : EMS

Au total, 80 dépassements entre 120 et 150 secondes ont lieu par jour sur le carrefour.

La rue Landsberg est confrontée en moyenne 11 fois par jour à un temps de rouge de 4 à 5 minutes, et 2 fois par jour à un temps supérieur à 5 minutes (300 secondes).

En moyenne sur une journée, 11 % des cycles présentent un dépassement des 120 secondes.

Parmi les dépassements des 120 secondes sur la rue Landsberg, les temps d'attente sont répartis comme suit :

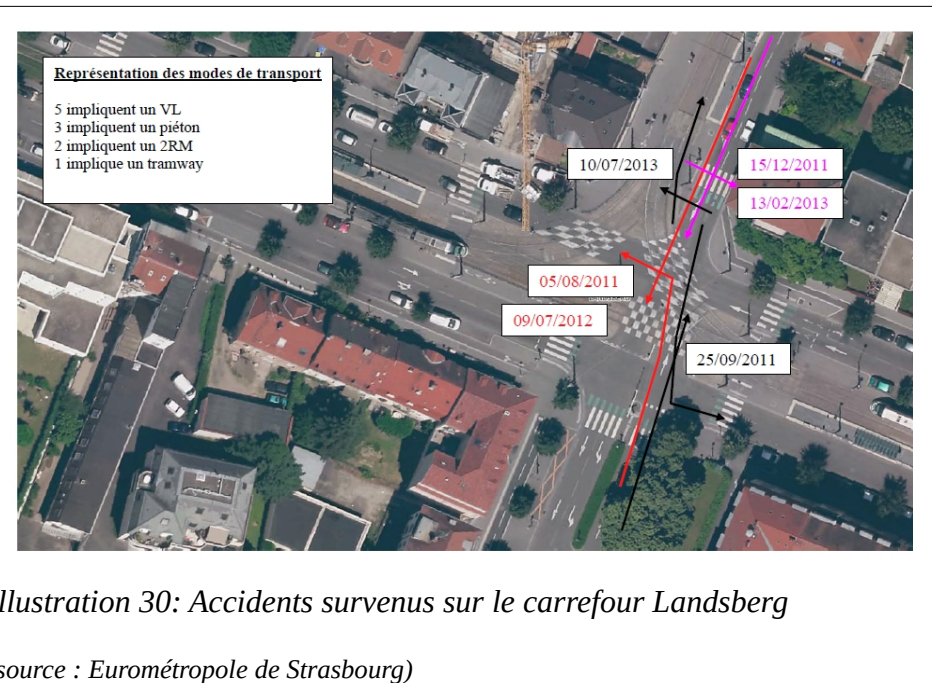


### Accidentologie

Entre le 1<sup>er</sup> janvier 2010 et le 31 juillet 2015 (5 ans plus 7 mois de 2015), 6 accidents ont eu lieu au niveau du carrefour rue du Landsberg / avenue Jean Jaurès.

7 personnes ont été blessées (3 piétons, 3 usagers 2RM, 1 usager VL).

- 05/08/2011, 12h04, jour, chaussée sèche, VL / VL, 1 usager VL blessé  
L'automobiliste circule rue de Rathsamhausen et tourne à gauche avenue Jean Jaurès. Lors de cette manœuvre, il ne respecte pas la priorité du véhicule venant en sens inverse et le percute.



- 25/09/2011, 13h40, jour, chaussée sèche, VL / Moto, 2 usagers de la moto blessés.  
L'automobiliste circule rue du Landsberg et tourne à gauche avenue Jean Jaurès. Lors de cette manœuvre, il ne respecte pas la priorité dont bénéficie le motocycliste qui circule en sens inverse et sans changer de direction.
- 15/12/2011, 20h55, nuit, chaussée sèche, VL / piéton, 1 piéton blessé  
Le piéton traverse sur le passage piéton au feu vert. Il ne voit pas arriver le véhicule à grande vitesse, qui lui heurte la main, lui roule sur le pied et prend la fuite.
- 09/07/2012, 17h55, jour, chaussée sèche, VL / 2RM, 1 usager 2RM blessé  
L'automobiliste circule rue de Rathsamhausen et tourne à gauche

avenue Jean Jaurès. Lors de cette manœuvre, il ne respecte pas la priorité du 2RM venant en sens inverse et le percute.

- 13/02/2013, 17h00, nuit avec éclairage public, chaussée sèche, VL / piéton, 1 piéton blessé

Le véhicule circule rue du Landsberg. A hauteur du passage piéton, il percute le sac d'un piéton qui attend pour traverser. Le piéton chute. Le conducteur du véhicule s'arrête un peu plus loin, sort pour constater des dégâts et repart (délit de fuite).

- 10/07/2013, 11h10, jour, chaussée sèche, tram / piéton, 1 piéton blessé

Il semble que le piéton titubait le long des voies du tramway. Arrivé à hauteur de la rue du Landsberg, il percute l'arrière du premier wagon du tramway.

En résumé, 3 des 6 accidents sont dus à un mouvement de tourne-à-gauche interdit, 1 accident implique un piéton qui titubait, et 2 accidents concernent le passage piéton de la rue du Landsberg.

Les 4 premiers accidents ne sont pas liés aux temps d'attente sur la rue du Landsberg.

Les 2 derniers accidents pourraient avoir un lien avec la vitesse des automobilistes sur la rue du Landsberg, qui pourrait être liée aux temps d'attente importants subis par les automobilistes.

### Étude des comportements

Le carrefour a été filmé plusieurs mardi et jeudi sur les périodes 7h-10h et 16h-19h. L'analyse de 18h de vidéo nous donne les résultats suivants :

Temps de vert moyen	Temps de rouge moyen	Temps de rouge max	Nombre de dépassement des 120s par heure
41	82	298	4,5

Le tableau suivant recense les passages au feu rouge observés pendant les 18h de vidéos.

Environ 1,2 % des véhicules passent au rouge. La grande majorité de ces véhicules accélère au jaune et franchit le rouge pendant la première seconde. Aucun franchissement n'a été observé après plus de 3 secondes de rouge.

3,2 % des 2 roues motorisés et 50 % des cyclistes passent au rouge. Les comportements sont très différents des automobilistes. Les 2RM et cyclistes s'arrêtent, observent puis franchissent le feu rouge.

	Trafic	Passages au rouge	Dont Rouge seconde 1	Dont Rouge seconde 2	Dont Rouge seconde 3	Dont Rouge seconde > 4
VL	4923	58	47	7	4	0
Pourcentage VL		1,18%				
2RM	188	6	0	0	0	6
Pourcentage 2RM		3,19%				
Cyclistes	26	13	0	0	0	13
Pourcentage Cyclistes		50,00%				



## 4.9. Strasbourg Place de Bordeaux

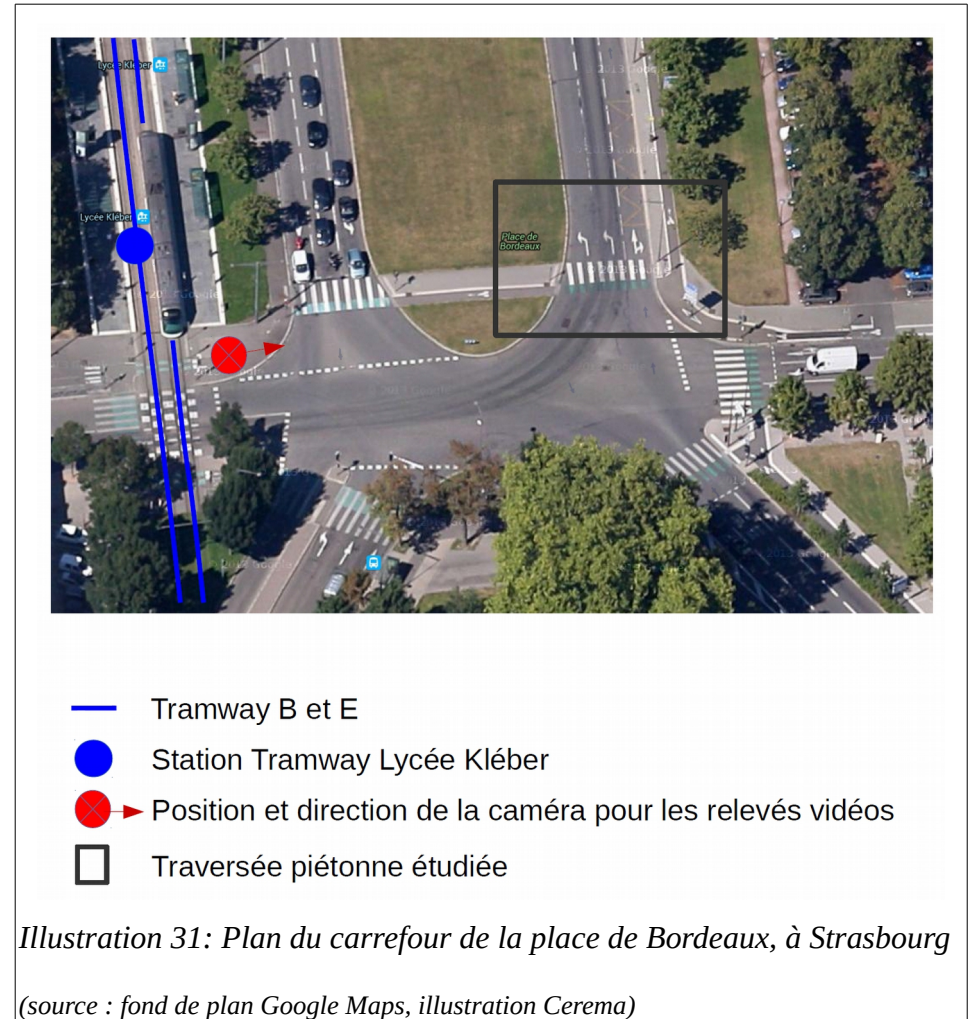
### Plan

Le carrefour de la place de Bordeaux se situe à proximité de la station de tramway Lycée Kléber. Le carrefour est traversé par les lignes B et E. La traversée piétonne étudiée mesure environ 10 mètres de long. Une piste cyclable unidirectionnelle traverse également les 3 voies de circulation, parallèlement au passage piéton.

La photo suivante montre la traversée étudiée, ainsi que les zones d'attente des piétons, de part et d'autre du passage.



Source : Cerema

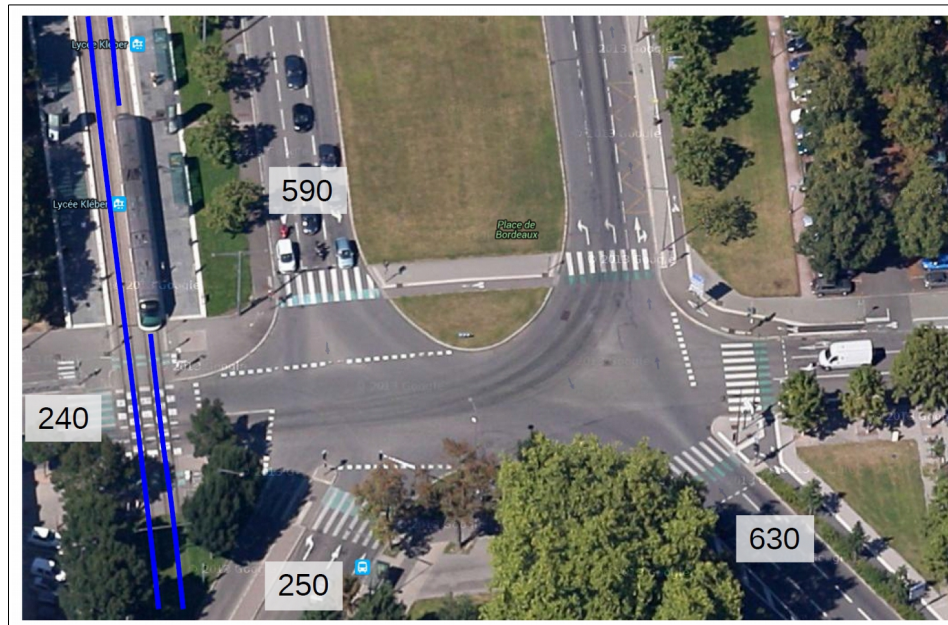


## Trafics et offre TC

En 2015, les fréquences HP par sens des 2 lignes de tram concernées sont les suivantes :

- Tram B : 7 minutes<sup>4</sup>
- Tram E : 6 minutes.

37 tramways franchissent le carrefour par heure, soit 1 tram toutes les 97 secondes.



Source : fond de plan Google Maps, illustration Cerema

## Phasage

Le carrefour présente 5 entrées, dont une qui est traversée par une plate-forme tramway. Le phasage du carrefour peut s'apparenter à un fonctionnement en 5 phases. La traversée piétonne étudiée bénéficie du vert pendant 2 phases parmi les 5. Il s'agit toutefois des 2 phases les plus courtes. La durée de chaque phase évolue en temps réel, en fonction des temps d'arrivée des tramways. Les phases tramway sont escamotables, elles ne sont données que si un tramway est présent. Si plusieurs tramways se présentent successivement, le cycle s'allonge et les temps d'attente pour les autres entrées du carrefour peuvent largement dépasser 120 secondes.

## Type de priorité TC

A Strasbourg, les tramways ont une priorité absolue aux carrefours. Le dépassement des 120 secondes n'a pas d'impact sur la priorité des tramways.

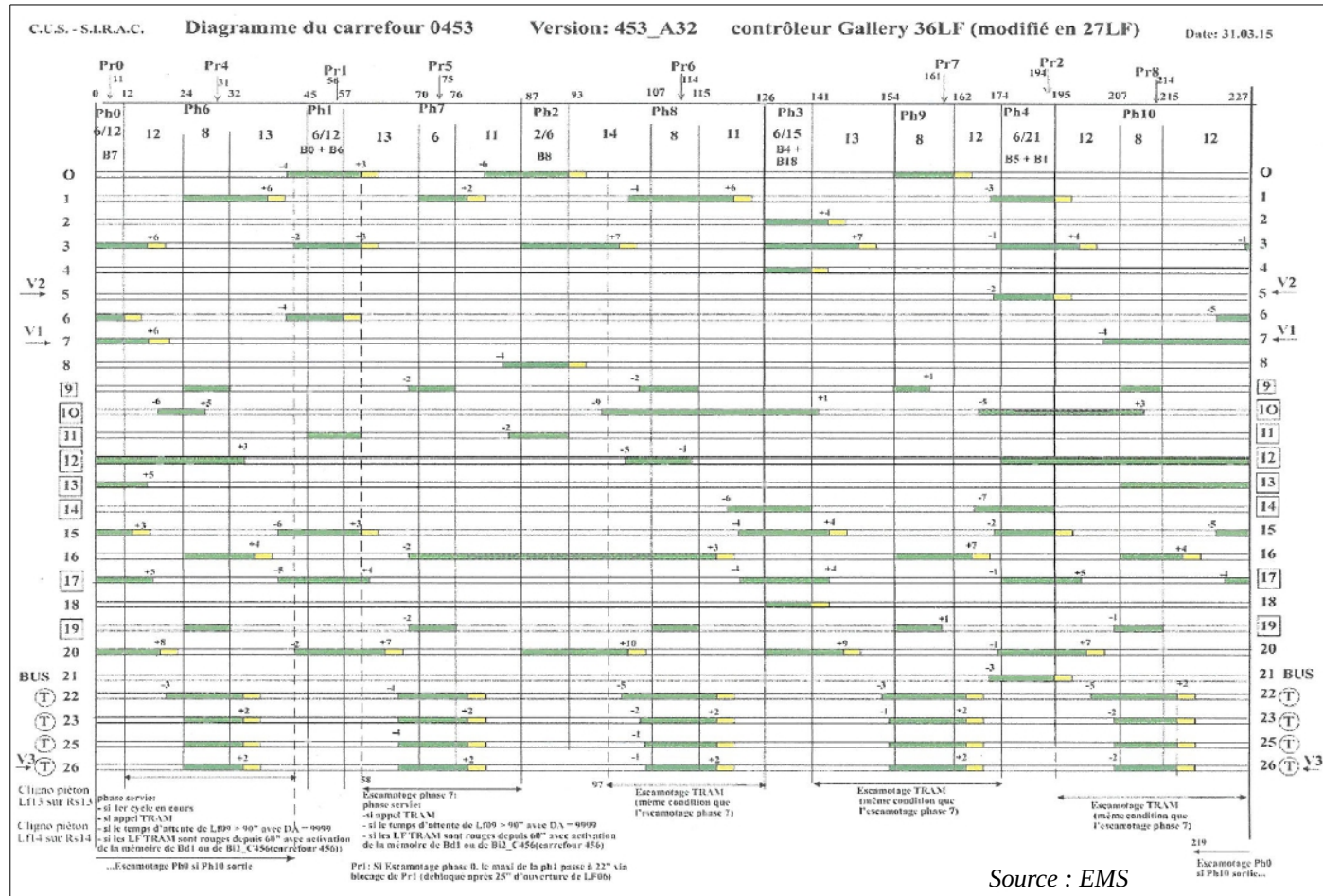
4 Les fiches horaires indiquent « un tram B toutes les 6 à 8 minutes » et « un tram E toutes les 4 à 8 minutes ».



### Plan de feux et temps d'attente théoriques

Le plan de feux complet, incluant les phases tramway, est particulièrement complexe. Il est disponible ci-dessous.

La traversée piétonne étudiée porte le numéro 11. Les temps de vert et de rouge observés sur la traversée piétonne sont détaillés dans la partie dédiée à l'analyse des comportements des piétons.



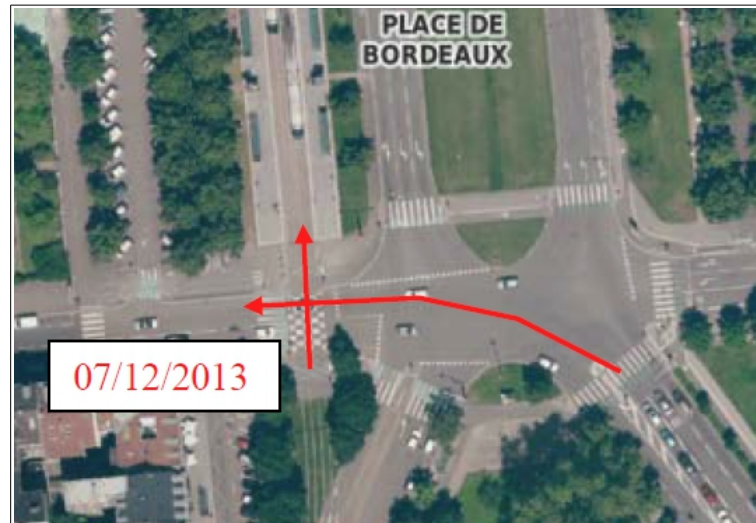


## Accidentologie

Entre 2010 et 2015, un accident est survenu sur le carrefour étudié :

- 17/12/2013, 09h45, jour, chaussée sèche, Tram/VL/piéton, 1 usager VL et 1 piéton blessé

L'automobiliste circule rue Ohmacht et tourne à gauche rue Jacques Kablé. Lors de cette manœuvre, il entre en collision avec la rame de tramway venant de sa gauche. Suite à la collision, le véhicule est projeté contre un poteau de signalisation qui se fend et tombe sur un piéton situé à proximité.



Source : EMS

Il s'agit d'une collision VL/tramway lors d'un mouvement de tourne-à-gauche, qui ne semble pas directement lié aux temps d'attente.

Aucun accident n'est survenu au niveau de la traversée piétonne étudiée.

## Étude des comportements

Le carrefour de la Place de Bordeaux à Strasbourg a été filmé plusieurs mardi et jeudi sur les périodes 7h-10h et 16h-19h. L'analyse de 21h de vidéo nous donne les résultats suivants :

Temps de vert moyen	Temps de rouge moyen	Temps de rouge max	Nombre de dépassement des 120s par heure
17	113	302	11,4

L'analyse des comportements des piétons et cyclistes donne les résultats suivants :

	Nb piétons	Rouge	Attend puis rouge	Attend vert (choix)	Attend vert (aucun créneau)
Piétons	3052	74,0%	6,5%	14,5%	5,0%
Cyclistes	1006	81,0%	5,0%	10,0%	4,0%

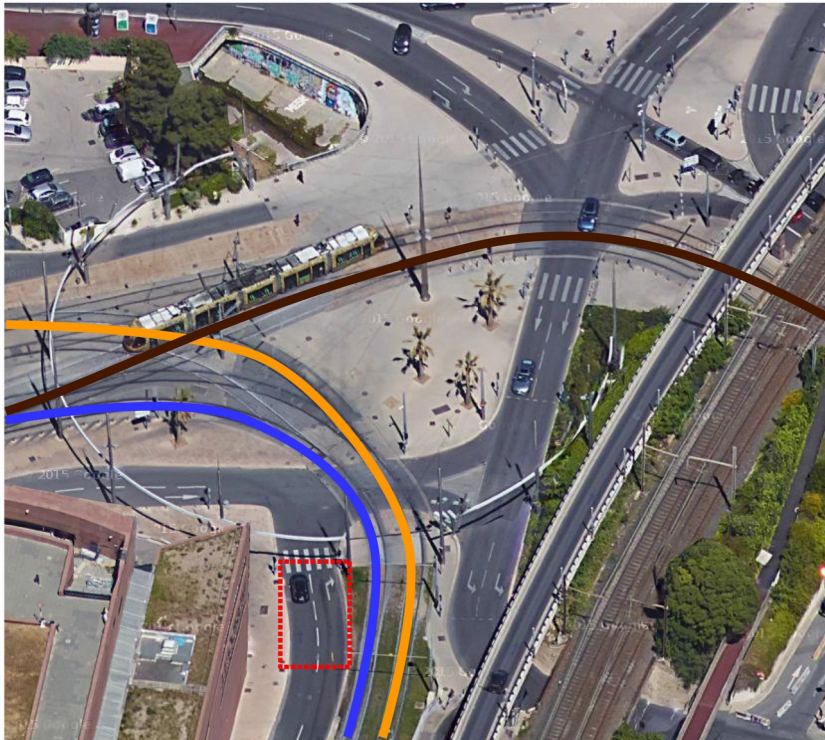
Au total, parmi les 3052 piétons arrivant au feu rouge, plus de 80 % d'entre eux traversent au rouge. 14,5 % des piétons font le choix de respecter le feu.

86 % des cyclistes passent au rouge.

## 4.10. Montpellier Citadelle

### Plan

Le carrefour Montpellier Citadelle est un carrefour complexe, vaste, traversé par 3 lignes de tramway, à proximité de la station Corum.



-  Véhicules étudiés
-  Tramway Ligne 1
-  Tramway Ligne 2
-  Tramway Ligne 4

Source : fond de plan Google Maps, illustration Cerema



Illustration 32: Ligne de feux étudiée - carrefour Montpellier Citadelle

(Source : Google StreetView)

Les véhicules étudiés (en rouge sur le plan) viennent du Sud et sont gérés par un feu tricolore R11v. En amont, afin de limiter le trafic sur cette voie, la rue est signalée à l'aide d'un panneau sens interdit, indiquant « sauf parking Corum – taxis – bus – hôtel Crowne Plaza ».

En arrivant au feu, les véhicules ont deux possibilités :

- tourner à gauche vers l'entrée du parking Corum ;
- tourner à droite et traverser les lignes de tramway.



Source : Google StreetView

## Trafics et offre TC

Sur la ligne de feu étudiée, le trafic est d'environ 60 véhicules / heure, pour les 2 voies.

Les lignes de tramway affichent les fréquences HP suivantes :

- Tramway Ligne 1 : 4 minutes pour chaque sens ;
- Tramway Ligne 2 : 6 minutes pour chaque sens ;
- Tramway Ligne 4 : 8 minutes pour chaque sens.

Un tramway traverse le carrefour toutes les 55 secondes.

## Phasage

Au niveau de la ligne de feu étudiée, le carrefour fonctionne en 2 phases (voir phasage ci-contre). La phase 1 est plus longue car l'axe Nord/Sud (route de Nîmes) supporte un trafic important, d'environ 1100 véhicules par heure et par voie, à l'heure de pointe.

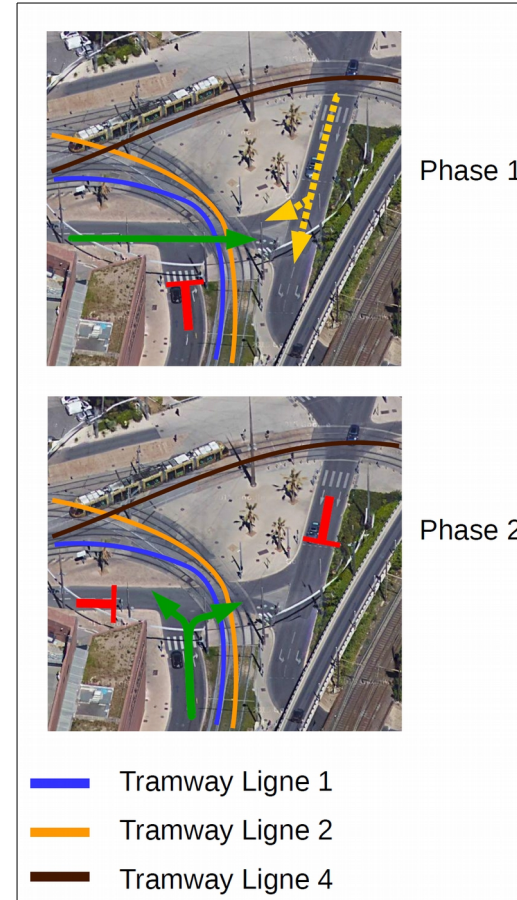
## Type de priorité TC

A Montpellier, les tramways ont une priorité absolue aux carrefours. Le dépassement des 120 secondes ne dégrade pas la priorité des tramways.

## Plan de feux et temps d'attente

Le carrefour est géré en temps réel par l'intermédiaire du système Gertrude. Le cycle théorique, sans arrivée de tramway, dure généralement 100 secondes, avec 70 secondes de vert données à la phase 1 et 16 secondes de vert données à la phase 2. Lors des arrivées de tramway, la ligne de feu étudiée est au rouge.

Le carrefour a été filmé les 22 et 24 mars 2016. Sur 2 jours, 350 dépassements des 120 secondes ont été signalés par le contrôleur, avec une moyenne de 227 secondes et un temps de rouge maximum de 758 secondes, soit plus de 12 minutes.



Source : Cerema

## Accidentologie

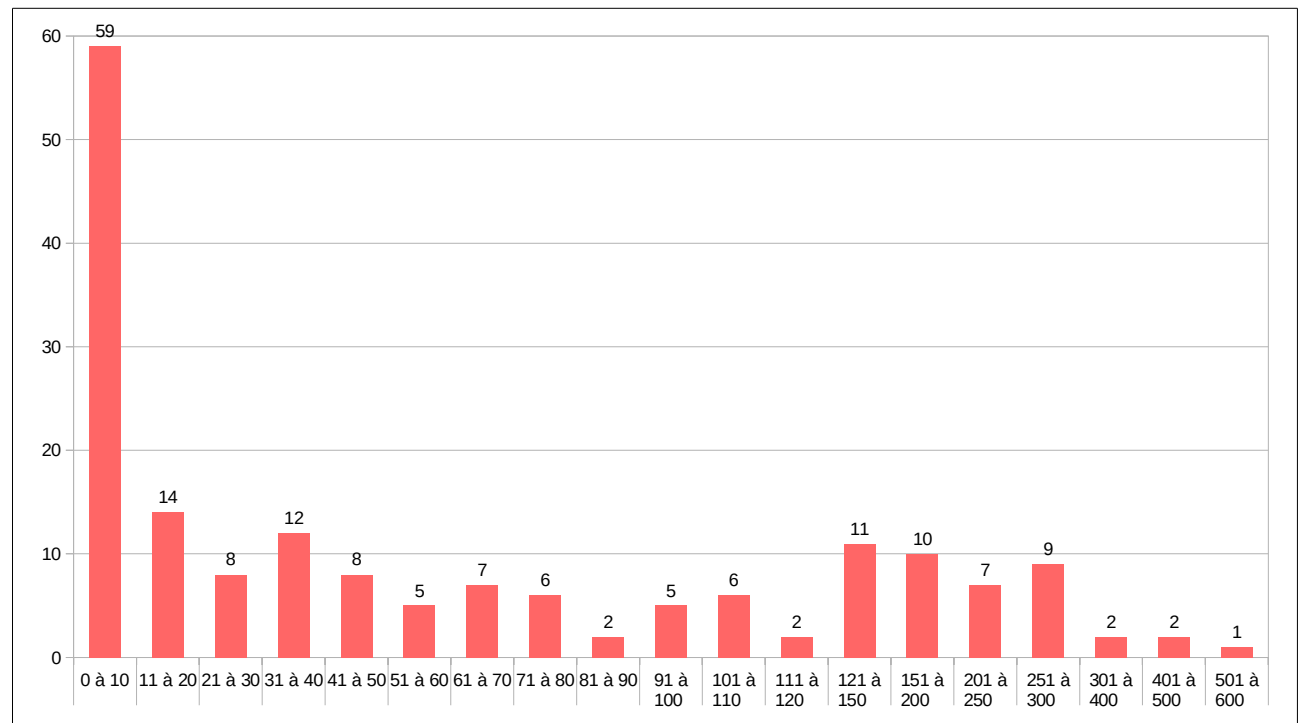
Un accident corporel a été recensé sur le carrefour étudié sur les 5 dernières années. Il s'agit d'un véhicule qui circule sur la place du 11 novembre sans changement de direction et percute un fossé ou un talus. L'automobiliste est légèrement blessé.

Cet accident ne semble pas lié au fonctionnement des feux ni aux temps d'attente.



### Étude des comportements

	Trafic	Passages au rouge
VL	687	176
Pourcentage VL		25,6%
2RM	135	89
Pourcentage 2RM		66%
Cyclistes	31	31
Pourcentage Cyclistes		100%



Les taux de franchissements de rouge des automobilistes sont extrêmement élevés (25%) et sont détaillés dans le tableau ci-dessus.

Les franchissements sont liés aux comportements des véhicules situés au droit du feu. Si deux véhicules sont arrêtés et respectent le feu, ils obligent les véhicules situés derrière eux à le respecter également. Le nombre d'automobilistes qui auraient voulu franchir le feu au rouge est donc plus élevé que les passages au rouge effectivement constatés. Les 2RM et les vélos, n'étant pas soumis à cette contrainte, ils affichent des taux encore bien supérieurs.

Pour chaque franchissement de rouge, le temps que l'automobiliste a attendu avant de franchir le rouge a été relevé. La répartition de ces temps d'attente est décrite sur le diagramme.

Nous observons que de nombreux automobilistes, probablement des habitués, franchissent le rouge dès leur arrivée, sans attendre. Ceci explique le pic observé pour les temps d'attente compris entre 0 et 10 secondes.

La médiane est de 37 secondes.

Le carrefour de Montpellier présente des temps d'attente très élevés, qui ne sont pas compris et peu crédibles pour l'automobiliste. Les temps de rouge sont imposés à la file de droite, mais également à la file de gauche, qui n'est pas en conflit avec le tramway. Les franchissements sont répartis de manière égale entre les deux voies.

Bien que l'échantillon soit faible, il est intéressant de noter que 66 % des 2RM et 100 % des cyclistes ont franchi le feu au rouge.

## 5. IMPACT DES TEMPS D'ATTENTE SUR LE COMPORTEMENT ET LA SÉCURITÉ DES USAGERS

### 5.1. Impact des temps d'attente sur l'accidentalité

Sur les cinq dernières années, très peu d'accidents corporels ont été recensés sur les carrefours étudiés. Aucun PV d'accident n'a fait apparaître le franchissement d'un feu rouge comme cause potentielle, ni un quelconque impact de la signalisation lumineuse. Les feux et la signalisation n'ont jamais été cités dans les circonstances des PV étudiés. Parmi les accidents relevés, la majorité ne concerne pas le TCSP, ni le respect des feux.

Les aspects géométriques des carrefours et les niveaux de trafics semblent avoir davantage d'impact sur les accidents que le fonctionnement et les temps d'attente. Les zones de conflit les plus vastes, sur Strasbourg Landsberg, Lyon Pasteur ou Nantes Pirmil par exemple, correspondent aux carrefours qui apparaissent les plus accidentogènes.

L'analyse des accidents n'a donc pas fait apparaître de véritable lien entre la durée des temps d'attente imposés et l'accidentalité du carrefour.

	Nombre d'accidents corporels en 5 ans	Accidents potentiellement liés aux temps d'attente
Nantes Haluchère	0	0
Nantes Jacksonville	1	0
Nantes Château	2	0
Nantes Pirmil	5	0
Metz Boileau	0	0
Metz Foch	4	2
Lyon Pasteur	2 (en 2 ans)	1
Strasbourg Landsberg	6	2
Strasbourg Place de Bordeaux	1	0
Montpellier Citadelle	1	0



## 5.2. Comportements des piétons selon le temps d'attente imposé

### La majorité des piétons ne respecte pas les feux

L'analyse des carrefours fait ressortir un point important : dans toutes les villes étudiées, la signalisation est globalement peu respectée par les piétons et les cyclistes.

Les piétons qui respectent la couleur du feu ont généralement un profil spécifique. En particulier les piétons qui attendent le feu vert, même s'il n'y a aucune voiture, font en quasi-totalité partie des catégories suivantes :

- Adultes accompagnant des enfants ;
- Enfants seuls ;
- Groupes scolaires ;
- Personnes âgées et PMR ;
- Personnes étant en conversation téléphonique ou envoyant un SMS ;
- Groupe de personnes qui discutent.

Des phénomènes de groupe sont observés. Si un groupe de piétons attend au rouge et que l'un d'entre eux traverse, les autres piétons auront tendance à adopter le même comportement.

Plusieurs types de comportements dangereux ont été observés :

- Le piéton court devant un véhicule, l'obligeant à ralentir ou à s'arrêter ;
- Sur une traversée de plusieurs voies, le piéton traverse une voie, s'arrête au milieu de la chaussée pour laisser passer un ou plusieurs véhicules sur la deuxième voie, puis finit sa traversée ;
- Le piéton entame sa traversée, voit un véhicule arriver, fait marche arrière et revient à son point de départ ;
- Le piéton prend un risque exceptionnel et court entre les véhicules pour prendre le bus ou le tramway.

Comparons les comportements sur les 3 traversées piétonnes étudiées.

Les 3 carrefours affichent des temps d'attente très différents :

	Temps de vert moyen	Temps de rouge moyen	Temps de rouge max	Nombre de dépassement des 120s par heure
Nantes	17	42	99	0
Metz	9	88	113	0
Strasbourg	17	113	302	11,4

Comparons à présent les comportements des piétons :

	Nb piétons	Rouge	Attend puis rouge	Attend vert (choix)	Attend vert (aucun créneau)
Nantes	753	57,6%	6,1%	27,2%	9,0%
Metz	4347	78,2%	2,0%	10,9%	8,9%
Strasbourg	3052	74,0%	6,5%	14,5%	5,0%

### Synthèse

Le carrefour nantais, qui offre un temps de traversée très confortable aux piétons, présente des chiffres de respect du feu nettement meilleurs que les carrefours messin et strasbourgeois. A Nantes, 36 % des piétons attendent le feu vert pour traverser. Les feux sont donc plus crédibles pour les piétons. Un temps d'attente limité incite les piétons à attendre le vert.

Les traversées de Metz et de Strasbourg présentent des caractéristiques similaires : 3 voies sans îlots, carrefour vaste, trafic VL important, forte fréquentation piétonne. Par contre, les temps d'attente imposés aux piétons sont très différents. Le carrefour de Metz respecte systématiquement la règle des 120 secondes, alors que le carrefour strasbourgeois présente des temps de rouge pouvant atteindre 5 minutes. Pourtant, les deux carrefours présentent les mêmes taux de respect des feux : environ 80 % des piétons arrivant pendant le rouge traversent au rouge. Lorsque le ratio temps de vert / temps de rouge est faible, et que le plan de feux n'est pas favorable aux piétons, la longueur du temps d'attente imposé aux piétons ne semble pas modifier leur comportement. Il existe un seuil au-delà duquel le feu n'est plus crédible pour les piétons, qui choisissent en majorité de traverser dès que possible, et donc souvent au rouge. Les temps d'attente imposés sur les carrefours de Metz et Strasbourg semblent dépasser ce seuil de crédibilité.

## 5.3. Comportements des automobilistes selon le temps d'attente imposé

### 5.3.1. Analyse des comportements

Six carrefours ont fait l'objet d'une étude des comportements des automobilistes. Ces carrefours présentent les temps d'attente suivant.

	Temps de vert moyen	Temps de rouge moyen	Temps de rouge max	Nombre de dépassement des 120s par heure
Nantes Haluchère	79	24	87	0
Nantes Jacksonville	87	21	58	0
Metz	53	41	105	0
Lyon	32	87	142	3,8
Strasbourg	41	82	298	4,5
Montpellier	14	162	758	11

A Metz, le carrefour étudié est un carrefour BHNS « classique », avec des temps d'attente raisonnables, qui peut servir d'élément de comparaison.

Les deux carrefours nantais sont traversés par le tramway, les VL sont arrêtés en barrage par des feux rouges clignotants R24.

Les carrefours de Lyon et Strasbourg affichent des temps d'attente qui dépassent régulièrement les 120 secondes, environ tous les quarts d'heure. Le

carrefour de Montpellier dépasse les 120 secondes toutes les 5 minutes en moyenne. Les carrefours strasbourgeois et montpelliérain sont traversés par 3 lignes de tramway. Six rames peuvent donc se présenter à la suite, et impliquer des temps d'attente très importants.

Les taux de franchissement du feu rouge observés sont répertoriés ci-dessous :

	Trafic	Passages au rouge	%
Nantes Haluchère	16755	134	0,80%
Nantes Jacksonville	1036	11	1,06%
Metz	9590	28	0,29%
Lyon	11280	145	1,29%
Strasbourg	4923	58	1,18%
Montpellier	687	176	25,6%

### Synthèse

Le carrefour de Metz, qui présente des temps d'attente courts, affiche un taux de franchissement faible, à hauteur de 0,3 % des automobilistes. Comme pour le cas de la traversée piétonne nantaise, les temps d'attente courts semblent garantir la crédibilité du feu et inciter l'usager à le respecter.

A Nantes, bien que les temps de rouge soient encore plus faibles (en moyenne 21 secondes et 24 secondes sur les deux carrefours étudiés), on observe un taux plus important, de 0,8 % sur Haluchère et 1,06 % sur Jacksonville. Il semble donc que le feu R24 soit moins bien respecté que le feu R11v.

A Lyon et Strasbourg, qui présentent des temps d'attente très longs, on observe une forte hausse du taux de franchissement : 1,2 % à Strasbourg, 1,3 % à Lyon. Le temps d'attente semble donc avoir un impact réel sur le taux de franchissements. Par contre, entre un temps d'attente limité à 150 secondes (Lyon), et un temps d'attente plus important (atteignant régulièrement 5 minutes à Strasbourg), on observe des taux similaires, avec une valeur plus élevée à Lyon. Du moment que le feu est crédible pour l'utilisateur, et que celui-ci comprend pourquoi il est arrêté, la durée maximale du temps d'attente ne semble pas avoir d'effet direct sur les franchissements. Il semble exister un effet de seuil : si le temps d'attente est jugé long par les automobilistes, le taux de franchissements augmente. Dans ce cas, que ce temps d'attente dure 2 ou 5 minutes, cela ne modifie pas le comportement et ne dégrade pas davantage la sécurité des usagers.

D'autre part, il existe également un seuil, au-delà duquel le feu n'est plus crédible pour l'utilisateur. A Montpellier, le temps d'attente n'est pas compris par les automobilistes. Les temps de rouge ont atteint 12 minutes lors des 2 jours d'analyse. Ils atteignent régulièrement 6 à 8 minutes. Ces temps de rouge sont imposés aux véhicules allant à droite et qui traversent les rails du tramway, mais également aux véhicules allant à gauche vers le parking, qui ne sont eux pas en conflit avec le tramway. On observe un taux de franchissement extrêmement élevé, d'environ 25 %, répartis de manière égale sur les deux voies de circulation. Une part importante des automobilistes franchissent le rouge dès leur arrivée au feu. Un temps de rouge de 6 à 8 minutes est manifestement supérieur au seuil de crédibilité du feu.

### Caractéristiques des franchissements

Sur les carrefours gérés avec des feux tricolores R11v, la majorité des automobilistes franchissant le feu rouge ont le même comportement : ils accélèrent pendant le jaune et franchissent le feu pendant la première voire la deuxième seconde de rouge. L'automobiliste traverse donc le carrefour pendant la période de « rouge de dégagement », ce qui diminue le risque d'accident.

En règle générale, les anticipations et démarrages au rouge sont très rares. Un démarrage au rouge est plus dangereux, surtout s'il a lieu pendant la phase antagoniste. Les automobilistes qui prennent ce risque pensent connaître précisément le fonctionnement du carrefour et estiment que le risque d'accident est faible.

Seul le carrefour de Montpellier présente des comportements différents. Sur ce cas, la majorité des usagers attendent puis, au bout de quelques minutes, démarrent au rouge. Deux phénomènes interviennent : certains se lassent suite à un temps d'attente trop long et démarrent, d'autres prévoient de franchir rapidement au rouge mais attendent qu'un créneau se présente entre les véhicules et les tramways.

R11v	Trafic	Passages au rouge	Dont Rouge seconde 1	Dont Rouge seconde 2	Dont Rouge seconde 3	Démarrage au rouge
Metz	9590	28	21	5	2	0
Lyon	11280	145	121	11	8	5
Strasbourg	4923	58	47	7	4	0
Montpellier	687	176	32	4	1	139

A Metz, aucun véhicule n'a démarré au rouge.

A Lyon, lors du passage d'un tram, les VL sont en conflit avec les trois voies venant sur la gauche du feu étudié. Cinq automobilistes ont démarré au milieu du rouge, après avoir vérifié qu'aucun véhicule ne venait sur la gauche. Les



automobilistes en question prennent le temps d'observer le fonctionnement, avancent doucement et traversent le carrefour à vitesse réduite.

A Strasbourg, du fait de la présence de tramways au milieu du carrefour, l'automobiliste comprend pourquoi il est arrêté et évalue le risque que représenterait un franchissement du rouge. Aucun démarrage en milieu de rouge n'a été observé.

Sur les carrefours gérés par R24, les automobilistes sont arrêtés en barrage, uniquement lors du passage d'un tramway. Un feu rouge implique donc théoriquement l'arrivée d'un tramway. Deux cas sont observés. La majorité des franchissements (87%) ont eu lieu avant le passage du tram, pendant les premières secondes de rouge.

R24	Trafic	Passages au rouge	Dont Avant Tram	Dont Après Tram
Nantes Haluchère	16755	134	117	17
Nantes Jacksonville	1036	11	10	1

Toutefois, on observe également 13 % de démarrages au rouge, ce qui est proportionnellement plus important que sur les carrefours gérés avec des R11v. L'automobiliste s'arrête, voit le tram passer et démarre. Ce sont les cas les plus dangereux, car un second tramway peut arriver dans l'autre sens, pendant la même phase (ou un TER, dans le cas du carrefour Nantes Haluchère). Le second tramway peut être masqué par le premier. Le risque d'accident est potentiellement plus important.

### 5.3.2. Analyse spécifique des verts courts

Pour respecter la règle des 120 secondes, les gestionnaires de voirie sont parfois contraints de faire passer une phase VL « en urgence » avant l'arrivée du tramway. Si la phase VL n'était pas donnée avant l'arrivée du tramway, le temps de rouge dépasserait 120 secondes sur cette ligne de feux et le carrefour pourrait tomber au jaune clignotant. Cela se traduit par une phase minimum, de 6 secondes de vert, offerte aux VL. Le tramway ralentit, attend 6 secondes et quelques secondes de temps de dégagement, puis traverse le carrefour. L'automobiliste attend donc environ 110 secondes, puis une « phase mini » de 6 secondes lui est donnée, permettant de faire passer 2 voire 3 véhicules. La situation est plus pénalisante sur les carrefours équipés de feux rouges clignotants R24 et non de feux verts R11v. En effet, si deux voire trois véhicules passent en 6 secondes de vert, le temps de réaction est plus long sur une phase de 6 secondes de « non clignotement » du R24. En général, seuls deux véhicules peuvent passer pendant cette phase. D'autre part, d'après les exploitants et les gestionnaires de voirie, les phases de 6 secondes sont accidentogènes car les véhicules sont surpris par le jaune et freinent d'urgence, ce qui peut impliquer des chocs arrières.

Plusieurs réseaux ont fait le choix de donner des phases de 6 secondes de vert aux automobilistes afin de respecter les 120 secondes<sup>5</sup>. Ces phases courtes semblent présenter un enjeu particulier. Nous avons donc mené une analyse spécifique sur ces temps de vert courts, sur le carrefour Nantes Haluchère. A Nantes, ces phases de 6 secondes sont en réalité des phases de « non rouge » ou encore de « R24 éteints », c'est-à-dire des phases où le feu rouge ne clignote pas.

Pour les phases de « non rouge » de 6 et 7 secondes, on observe un taux de franchissement d'environ 30 %. Cela signifie qu'environ 2 véhicules parviennent à franchir le feu dans les temps, et que le troisième véhicule passe au rouge.

Pour les phases de 8 à 10 secondes, on constate un taux de franchissement de 13 %. Enfin, pour les phases de 11 à 15 secondes, on observe un taux de franchissement de 3 %.

5 Pour plus de précisions, voir le rapport d'étape « La règle des 120 secondes, État des pratiques en France, Phase 1 »

En comparaison des chiffres observés sur les autres carrefours, ces taux de franchissement sont très élevés. Il est difficile de comparer précisément le taux de franchissement d'un carrefour géré par R24 avec celui d'un carrefour géré par R11v, du fait de l'absence de jaune sur les feux R24. Par contre, on peut conclure que les phases de 6 secondes présentent un taux de franchissement très largement supérieur aux phases de 11 à 15 secondes.

Temps de vert	Echantillon	Trafic	Dont passages au rouge	Pourcentage
6 – 7s	24	60	19	32%
8 – 10s	15	63	8	13%
11 – 15s	36	154	5	3%

Ces chiffres sont toutefois à nuancer. En effet pour obtenir ces statistiques, nous avons repéré les phases courtes, puis observé le comportement des automobilistes confrontés à ces phases. Les chiffres de franchissements observés sont très élevés. Toutefois, les pourcentages sont élevés car sur une phase de 6 secondes, 3 véhicules peuvent traverser en théorie. Ainsi, le troisième véhicule arrivera à la limite entre le vert et le rouge, et sera en situation de franchir le feu au rouge.

Sur un carrefour à feux classique, avec une phase de vert de 60 secondes, 30 véhicules peuvent passer en théorie. Les 27 premiers véhicules arriveront au vert, donc quel que soit leur comportement, ils seront comptabilisés comme des usagers respectant le feu. La question se posera sur les derniers véhicules. Si l'on avait pris en compte, comme pour les phases courtes, uniquement les 3 derniers véhicules, les pourcentages de franchissement auraient été plus élevés sur les autres carrefours.

En conclusion, il est difficile de comparer uniquement les pourcentages d'automobilistes franchissant le feu rouge entre un carrefour classique et un carrefour présentant des phases de 6 secondes. Pour être plus précis, il faut calculer le nombre de cycles qui présentent un franchissement du feu rouge. Ce calcul permettra de comparer plus objectivement les comportements selon les temps d'attente.

### 5.3.3. Analyse complémentaire du taux de cycles « franchis »

En complément de l'analyse du taux d'automobilistes ne respectant pas le feu rouge, nous pouvons ajouter une analyse du taux de cycles présentant un franchissement de rouge.

En effet, comme expliqué dans la partie précédente, il existe un biais dans la comparaison entre vert court et phase classique. Dans une phase de vert, les premiers véhicules respectent toujours le feu, puisqu'ils se présentent au feu quand il est vert. Ce sont les derniers véhicules, qui arrivent en fin de vert, pendant le jaune, ou en tout début de rouge, qui sont décisifs. Ainsi, en comparant « vert court » et phase classique sur les autres carrefours, les statistiques sont biaisées par les véhicules passant au vert en début de vert. Pour comparer ces deux types de phase de manière plus objective, il faut donc comparer le nombre de cycles qui présentent un franchissement du feu rouge.

Pour pouvoir comparer un carrefour à un autre, il est important d'étudier les franchissements par voie. En effet, sur une entrée à 4 voies, 4 véhicules se présenteront au feu lors de la première seconde de rouge. Statistiquement, il est donc 4 fois plus probable d'observer un franchissement de rouge sur l'entrée à 4 voies que sur une entrée à 1 voie.

Lors de la mise en place des CAFR (contrôles automatisés de franchissement de feu rouge, ou radar à feux), une étude avant / après des franchissements avait permis de connaître un ordre de grandeur du taux de cycles franchis. En moyenne, sur les 50 carrefours ciblés pour l'étude avant mise en place du radar, environ 1 cycle sur 10 présentait un franchissement du feu rouge.

Les calculs sont détaillés dans le tableau de synthèse ci-dessous.

	Nombre de cycles étudiés	Nombre de franchissements	Nombre de voies	% de cycles franchis (par voie)
Nantes Haluchère	839	134	2	8%
Haluchère vert court 6-7s	24	19	2	40%
Haluchère vert court 8-10s	15	8	2	27%
Haluchère vert court 11-15s	36	5	2	7%
Nantes Jacksonville	400	11	1	3%
Metz Boileau	689	28	1	4%
Lyon Pasteur	363	145	4	10%
Strasbourg Landsberg	527	58	1	11%
Montpellier Citadelle	244	176	2	36%

On remarque que le carrefour de Metz affiche seulement 4 % de cycles présentant un franchissement de feu rouge.

C'est également le cas du carrefour de Nantes Jacksonville. Le faible taux sur ce carrefour peut en partie s'expliquer par le faible trafic observé. En effet, le mouvement de tourne-à-gauche en conflit avec le tramway, qui a fait l'objet de l'analyse, représente seulement 3 véhicules par cycle. Ainsi, de nombreux cycles se sont déroulés sans aucun véhicule confronté au passage au rouge.

Les carrefours imposant un temps d'attente long présentent des taux au moins 2 fois plus élevés, à savoir 10 % des cycles à Lyon, et 11 % des cycles à Strasbourg. En comparaison des taux de Metz, nous pouvons en déduire que le temps d'attente a un impact sur les franchissements de rouge. Par contre les taux sont similaires à Lyon, où les temps d'attente sont limités à 150 secondes, et à Strasbourg où les temps d'attente peuvent dépasser 4 minutes.

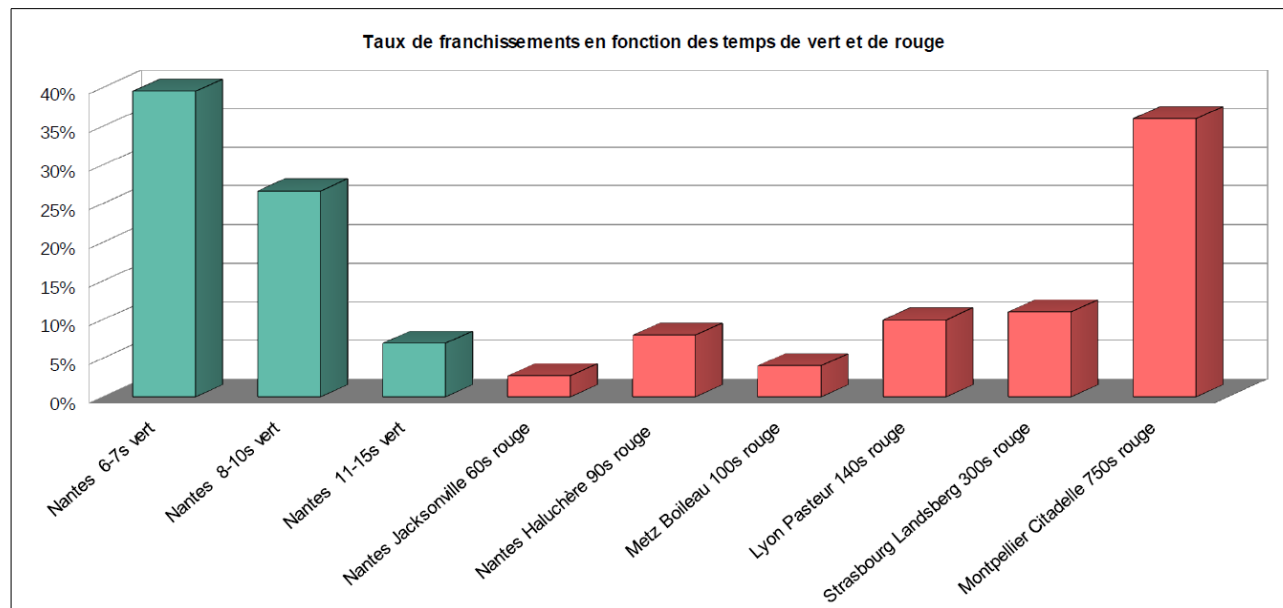
Le carrefour de Montpellier, dont les temps d'attente atteignent 8 à 12 minutes, présente un taux de franchissement extrêmement élevé.

Globalement le carrefour Haluchère, malgré ses temps d'attente courts, affiche un taux de 8 %, relativement élevé au vu des temps de rouge imposés (24 secondes en moyenne). Si on s'intéresse aux verts courts de 6 et 7 secondes, on obtient un taux de franchissement extrêmement élevé, de l'ordre de 40 %. A mesure que le vert s'allonge, on remarque que les taux de franchissement diminuent. On a donc encore 27 % des cycles franchis sur les phases de vert de 8 à 10 secondes, et 7 % sur les verts de 11 à 15 secondes. Comme expliqué dans la partie précédente, il est difficile de comparer précisément le taux de franchissement d'un carrefour géré par R24 avec celui d'un carrefour géré par R11v, du fait de l'absence de jaune sur les feux R24. Par contre, on peut ici conclure que les phases de 6 secondes présentent un taux de cycles franchis 5 à 6 fois plus élevé que les phases de 11 à 15 secondes.

Nous pouvons donc en conclure que par rapport à un carrefour classique, les temps d'attente très longs et les temps de vert très courts augmentent significativement le taux de franchissements de rouge.

Le diagramme ci-dessous permet de synthétiser l'impact du temps d'attente sur les comportements des automobilistes. On observe le taux de non-respect du feu, en fonction des temps de vert et de rouge.

A gauche en vert, sont représentés les comportements des usagers soumis à des phases de vert court. A droite en rouge, sont indiqués les taux de franchissement en fonction des temps de rouge imposés, par ordre croissant des temps d'attente. Ainsi, les carrefours de Jacksonville (60s max) et Boileau (100s max) affichent des taux bas. Les taux de franchissements de Haluchère (90s max), Pasteur (140s max) et Landsberg (300s max) sont plus élevés, mais restent dans la limite des 10 – 11 %. Le carrefour Citadelle (750s max) présente un taux 3 fois plus élevés.





## 6. CONCLUSION

L'analyse détaillée des 10 carrefours a permis d'évaluer les comportements des différents usagers de la route. En raison du faible nombre d'accidents recensés, l'étude de l'accidentalité n'a pas mis en évidence de lien entre la durée des temps d'attente et le risque d'accident corporel.

Tout d'abord, l'étude a montré que le respect des feux par les piétons est globalement faible, surtout quand les temps d'attente deviennent longs. On observe un taux de traversée au rouge de 64 % quand le temps d'attente est court (40 secondes) et d'environ 80 % pour des temps d'attente plus longs (100 à 300 secondes). Il existe un seuil d'acceptabilité et de crédibilité du feu, au-delà duquel les piétons tentent de traverser dès que possible, quelle que soit la couleur du feu. Un temps de rouge de 120 secondes est déjà supérieur à ce seuil. Les piétons qui respectent scrupuleusement les feux font partie de catégories très spécifiques : principalement des enfants seuls ou accompagnés, des personnes âgées et des PMR. Les piétons sont des usagers vulnérables. Leur imposer des temps d'attente très longs les encourage à traverser au rouge, en se souciant plus des créneaux disponibles entre les véhicules que de la couleur du feu. Dans le contexte actuel qui vise à rendre l'espace aux piétons et à sécuriser leurs déplacements, il ne semble pas souhaitable de modifier le seuil des 120 secondes d'attente pour les traversées piétonnes.

En ce qui concerne la circulation générale, il apparaît que le taux de franchissement de feu rouge est faible quand les temps d'attente sont courts (inférieurs à 100 secondes de rouge), avec un taux de cycles présentant un franchissement de rouge de l'ordre de 4 % des cycles. Ce taux augmente jusqu'à 10 % environ quand les temps d'attente s'allongent (de 100 à 300 secondes de rouge). Un temps d'attente d'environ 210 à 300 secondes de rouge ne semble pas engendrer plus de franchissements qu'un temps d'attente de 120 secondes, du moment que l'automobiliste comprend pourquoi il est arrêté, et comprend que la priorité est donnée aux transports collectifs en site propre. Il existe un intervalle de temps d'attente, entre 210 et 300 secondes, qui semble accepté et respecté par les usagers. L'étude a montré l'existence d'un seuil, au-delà duquel le feu n'est plus crédible pour l'utilisateur. On peut alors observer des taux de franchissements extrêmement élevés, de l'ordre de 35 % des cycles présentant un franchissement de rouge. D'après l'étude des carrefours, on peut conclure qu'un temps d'attente de 6 à 12 minutes est manifestement supérieur

au seuil de crédibilité et d'acceptabilité pour l'utilisateur.

L'attention est souvent focalisée sur les temps de rouge, mais la durée des temps de vert a également un impact certain sur les comportements. En particulier, l'étude a montré que les phases de « vert court », de 6 à 10 secondes, engendraient des taux de franchissements de rouge très importants. Ces phases de vert de 6 secondes sont données pour respecter la règle des 120 secondes. Quand un tramway est détecté et que lui donner priorité impliquerait un dépassement des 120 secondes sur une ligne de feu, de nombreux gestionnaires sont contraints de donner en « urgence » des phases de 6 secondes de vert avant le passage du tramway. Ces phases de vert de 6 secondes impliquent des taux de franchissements de rouge très élevés. Sur les phases de 6 secondes, on observe 6 fois plus de cycles franchis que sur les phases de vert de 11 à 15 secondes. Les phases de vert très courtes et les phases de rouge très longues doivent être évitées par souci de crédibilité et de sécurité des usagers.

Il semble souhaitable de modifier le seuil de 120 secondes pour les automobilistes, et d'encadrer les pratiques. Augmenter cette valeur limite permettra à la fois de conserver une forte priorité aux transports collectifs en site propre tout en respectant la réglementation, et de limiter l'apparition de phases de vert court. Adapter la réglementation au contexte actuel du développement du tramway et du BHNS, et assurer le suivi et le respect de l'IISR, permettra également d'éviter les phases de rouge de 6 à 12 minutes qui existent aujourd'hui. Il est nécessaire de conserver une valeur limite, afin d'éviter l'apparition de temps de rouge non acceptables pour les usagers.

Il semble souhaitable de porter la valeur limite du temps d'attente pour la circulation générale à 240 secondes, uniquement pour les carrefours traversés par un transport collectif en site propre. Sous réserve d'une étude assurant que le fonctionnement du carrefour a préalablement fait l'objet d'une optimisation, et justifiant le besoin de dépasser le seuil de 120 secondes, ces carrefours traversés par un TCSP pourraient afficher des temps d'attente atteignant 240 secondes.



**Pôle de compétence**  
**« Interface transports collectifs et voirie »**

Depuis 2010, le PC « [Interface transports collectifs et voirie](#) » répond au besoin de conforter des équipes du Réseau Scientifique et Technique autour des activités de recherche, d'innovation et de méthodologie sur les thématiques prioritaires du MEDDTL. L'activité de ce PC est centrée sur l'aménagement et la conception multimodale des voiries urbaines.

Le PC « [Interface Transports collectifs et voirie](#) » est placé sous l'égide de la Direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer. Au sein du Cerema, il est piloté par la Direction territoriale Méditerranée en lien avec la Direction technique Territoires et Ville. Il associe la Direction territoriale Centre-Est. Il s'organise autour de correspondants dans les autres Directions territoriales.

Il mobilise une équipe d'une vingtaine de techniciens et de cadres de haut niveau, spécialisés dans les domaines de l'aménagement de la voirie, du fonctionnement des réseaux, de la sécurité et de l'insertion urbaine des transports collectifs.

**Contact** : [iutcs.cgr.voi.certu@cerema.fr](mailto:iutcs.cgr.voi.certu@cerema.fr)  
[td.add.dterest@cerema.fr](mailto:td.add.dterest@cerema.fr)

Document consultable et téléchargeable sur le site <http://www.cerema.fr>

© 2016-Cerema - Ce document ne peut être vendu. La reproduction totale ou partielle du document doit être soumise à l'accord préalable de l'auteur.