

Guide de conception des carrefours à feux

Certu

9, rue Juliette Récamier 69456 Lyon - France

Collection Références

Cette collection comporte les guides techniques, les ouvrages méthodologiques et les autres ouvrages qui, sur un champ donné, présentent de manière pédagogique ce que le professionnel doit savoir. Le Certu a suivi une démarche de validation du contenu et atteste que celui-ci reflète l'état de l'art. Il recommande au professionnel de ne pas s'écarter des solutions préconisées dans le document sans avoir pris l'avis d'experts reconnus.

Le Certu publie également les collections : débats, dossiers, rapports d'étude.

Rédaction :

L'ouvrage a été rédigé par Christophe Damas, du Certu, avec de précieuses contributions de Maryvonne Noël, de la société ACTOM. La démarche pédagogique de cet ouvrage s'appuie sur celle du module de formation conception des carrefours à feux de Ponts Formation Édition, animé par Maryvonne Noël et Christophe Damas.

Remerciements :

Le Certu tient à remercier l'ensemble des relecteurs de cet ouvrage :

Gérard Delthil de la ville de Paris

Bernard Éneau du Certu

Yann Le Goff de la ville de Paris

Patrice Hallet du Certu

Benoît Hiron du Certu

Patrick Laffont de la ville de Toulouse, représentant l'AITF

Jean-Pierre Le Loc'h de la ville de Paris

Franck Monti du Cete Méditerranée

Jacques Nouvier du Certu

Olivier Petiot du Certu

Jean-Luc Reynaud du Certu

Illustrations :

Tous les schémas, sauf mention contraire, ont été élaborés par Christophe Damas, du Certu.

Sommaire

. Introduction	5
. Domaine d'emploi	6
. Démarche d'étude	10
. Règles d'or de conception	14
. Évaluation sommaire au stade de l'avant-projet	24
. Traitement des tourne-à-gauche	37
. Prise en compte des piétons	50
. Prise en compte des VTC	56
. Prise en compte des vélos	62
. Vérification au stade projet	65
. Bibliographie	75
. Table des matières	77

Introduction

Gérer les conflits sur la voirie urbaine exige d'écouler la demande de déplacements de tous les modes dans les meilleures conditions de sécurité et d'environnement. Après avoir cherché, pendant de nombreuses années, à satisfaire la demande croissante en déplacements individuels motorisés, les politiques de déplacements ont évolué vers la promotion des modes alternatifs aux véhicules motorisés individuels et un meilleur partage de l'espace et du temps à leur profit. La mise en œuvre du Grenelle de l'environnement légitime pleinement cette tendance.

Dans cet ouvrage, l'ingénierie du trafic et l'expertise acquise dans la conception des carrefours à feux et de la régulation du trafic intègrent ces nouvelles attentes, avec le souci permanent de contribuer à la sécurité routière, qui demeure un enjeu majeur. La réglementation de la signalisation routière rassemble la majorité des règles à respecter à cet égard de façon plus ou moins impérative ; si beaucoup sont rappelées, ce document s'appuie sur ce contexte réglementaire plus qu'il ne le complète et ne se substitue en aucun cas à cette réglementation.

1

Domaine d'emploi

1.1 Séparer dans le temps les principaux courants d'usagers en conflit dans un carrefour

Comme le précise la réglementation (instruction interministérielle sur la signalisation routière, Livre I – 6^e partie), les signaux lumineux d'intersection ont pour objet de dissocier dans le temps l'admission dans un carrefour de courants de véhicules et de piétons incompatibles. Les signaux lumineux ne sont utiles que si les créneaux dans les flux ne sont plus suffisants pour permettre aux différents usagers de traverser confortablement l'intersection sans prendre de risque.

La mise place de signaux lumineux ne doit être envisagée que si aucune solution en écoulement libre (carrefour à priorité à droite, cédez-le-passage, stop, giratoire, mini-giratoire) ne donne satisfaction.

La présence d'un carrefour à feux proche d'une intersection sans feu favorise l'existence de créneaux plus longs sur cette intersection. Comme indiqué précédemment, si ces créneaux sont suffisants, alors l'implantation de feux n'est pas utile.

Le créneau pour qu'un véhicule puisse traverser un flux circulant sur une voie est de 4 secondes, pour deux voies il s'élève à 6 secondes. Pour les piétons, ces créneaux sont plus longs, 6 secondes pour une voie à sens unique.

1.2 Gérer un passage piéton en section courante

Hors intersection, la gestion des passages piétons par feux doit toujours être envisagée avec prudence car la signalisation lumineuse est moins crédible dans ce contexte. L'aménagement doit être particulièrement visible : la mise en place d'un îlot refuge en baïonnette contribue à cette visibilité, renforçant ainsi la vigilance des automobilistes et des piétons.

D'un point de vue « trafic », on considère qu'il est difficile pour un piéton de traverser une chaussée unidirectionnelle supportant un flux de plus de 800 véhicules par heure.

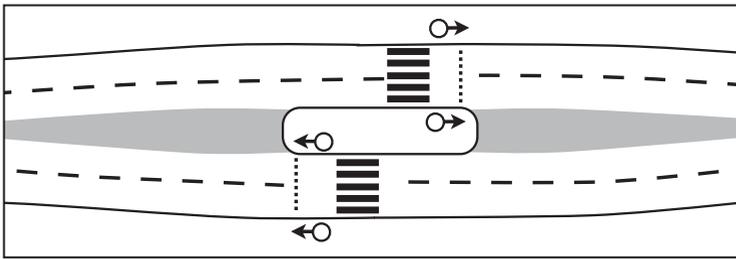


Fig. 1 : passage piétons en section courante, géré par feux.

1.3 Gérer un alternat

Lorsqu'à un passage singulier, une voie est trop étroite pour admettre deux sens de circulation, une gestion par feux peut être envisagée, notamment s'il y a un problème de covisibilité avec un niveau de trafic important.

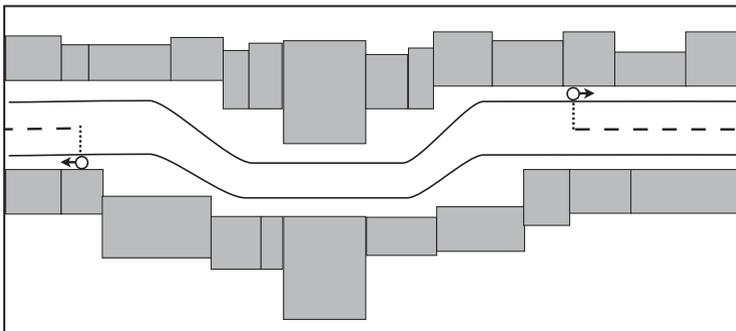


Fig. 2 : exemple d'alternat.

Chaque fois qu'un feu passe au rouge, le feu qui gère le mouvement adverse ne peut passer au vert avant que le dernier véhicule engagé n'ait dégagé l'alternat. Il s'ensuit un temps neutralisé dont la durée est proportionnelle à la longueur de l'alternat. Pour assurer la crédibilité de la signalisation, il est souhaitable de limiter ce temps neutralisé et donc de réduire la longueur de l'alternat.

1.4 Les feux sont des équipements essentiellement urbains

Les vitesses d'approche des véhicules doivent être modérées afin que ceux-ci puissent s'arrêter aux feux dans des conditions normales de décélération. Lorsque les vitesses sont trop élevées, on constate :

- de nombreux franchissements de rouge ;
- des chocs arrière fréquents.

La signalisation lumineuse n'est donc pas adaptée à la rase campagne, où les vitesses sont en général élevées. Tout carrefour à feux est supposé situé sur un axe urbain structurant.

Relativement économe en emprise, il se rencontre tout naturellement dans les zones urbaines, aux intersections les plus chargées en trafic.

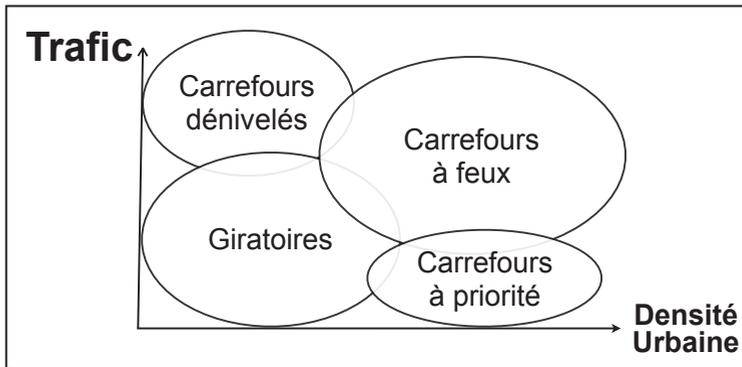


Fig. 3 : domaine d'emploi des carrefours à feux.

Les feux ne doivent pas surprendre l'utilisateur :

C'est la rupture dans le bâti qui rend visible une intersection. Celle-ci doit être perçue par l'utilisateur y compris lorsque les feux sont éteints. Utiliser des feux pour rendre visible une intersection mal perçue est une fausse solution en termes de sécurité.

Une installation de carrefour à feux doit être maintenue :

La maintenance des feux suppose des compétences particulières, notamment celles de spécialistes de l'ingénierie du trafic. Cette compétence représente un investissement lourd en ressources humaines qui ne peut être amorti que sur un nombre d'installations élevé. Cela est rarement le cas dans les agglomérations de moins de 20 000 habitants.

1.5 Feux et sécurité routière

Les feux de circulation permettent de faciliter les franchissements d'intersections dans lesquelles la visibilité entre courants antagonistes est mauvaise. Si, globalement, ils ne sont pas plus accidentogènes que les autres carrefours plans, l'enjeu de sécurité n'en demeure pas moins important puisqu'un tiers des accidents corporels survenus en intersection concernent des carrefours à feux et que 20 % des accidents piétons y sont dénombrés. Il est vrai que ce mode de gestion est surtout utilisé là où les volumes de trafic et les conflits avec les piétons sont le plus élevés. Un carrefour à feux n'est pas en soi un gage de sécurité : la qualité de sa conception, dans le respect de la réglementation, en est la meilleure garantie.

2 Démarche d'étude

La création, ou plus souvent le réaménagement d'un carrefour en milieu urbain, relève d'une problématique complexe, détaillée dans le guide Carrefours urbains, du Certu, auquel nous renvoyons le lecteur. Nous préférons ici détailler la liste des données utiles pour une étude de carrefour à feux.

2.1 Observer

C'est en allant observer le site aux heures significatives que l'on s'imprègne de la vie d'un quartier et que l'on apprend le plus de choses quant aux comportements face à un aménagement existant. On découvre ainsi les stratégies d'évitement, les infractions, les conduites accidentogènes, les traces d'aménagements antérieurs, les dégâts sur les mobiliers et les plantations, la qualité de la maintenance, la vétusté des revêtements et des équipements, etc. Il n'est pas non plus inutile d'interroger les habitués d'un quartier sur les pratiques, les dysfonctionnements, l'insécurité ressentie, les débats en cours, les nuisances, les conflits d'usage, etc. Les résultats d'une concertation officielle avec les riverains permettent aussi d'obtenir des renseignements intéressants. Il faudra bien sûr prendre du recul et utiliser toutes ces informations avec précaution. C'est aussi l'occasion de vérifier, compléter, mettre à jour le plan et relever la signalisation existante (verticale, horizontale, interdiction de tourner...).

2.2 Compter tous les mouvements directionnels

Il est indispensable de compter le nombre de véhicules issus d'une entrée et empruntant une sortie donnée pendant les périodes de référence : on se focalise souvent sur l'heure de pointe du matin (HPM) et l'heure de pointe du soir (HPS), mais de plus en plus, le samedi après-midi est la période la plus chargée en ville. Sauf en zone touristique, le comptage est généralement réalisé hors congés scolaires. Dans le cas de zones plus étendues, une enquête origine/destination peut s'avérer nécessaire.

Si l'étude porte sur un itinéraire comportant une succession de carrefours à feux, on peut souvent se contenter de compter les carrefours les plus importants : le trafic sur l'axe est connu par ce qui entre ou sort des carrefours voisins.

Les trafics sont exprimés en véhicules par heure (véh./h).

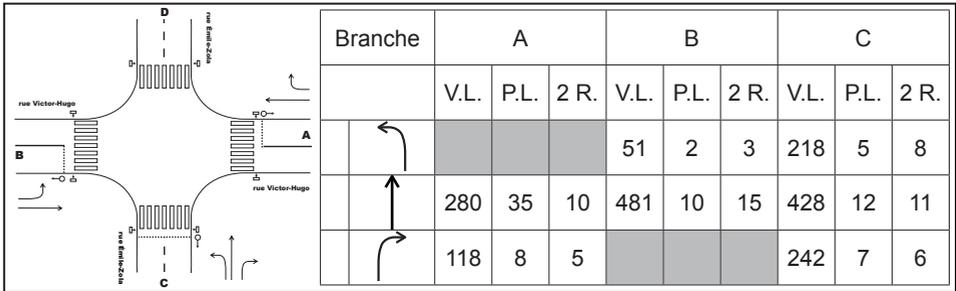


Fig. 4 : comptages directionnels.

2.3 Estimations prévisionnelles

Dans le cas d'opérations d'urbanisation, de réalisation d'une infrastructure nouvelle, ou de forte évolution des déplacements, il faut estimer la demande de trafic : on pourra soit utiliser les résultats de modèles d'affectation et de prévision du trafic, soit faire des hypothèses réalistes, qui devront être validées par les décideurs. Ces modèles devront être bien calés, et on devra conserver un regard particulièrement critique sur les mouvements prévus à l'intérieur des carrefours, les erreurs étant souvent beaucoup plus fortes sur ces données que sur les trafics en section courante. Se donner des hypothèses de trafic, basées sur la cohérence des capacités des axes dans le secteur du projet, est souvent une approche payante, qui a le mérite d'adapter le dimensionnement du carrefour aux possibilités du réseau connexe.

2.4 Disposer d'un vrai plan

Dès la phase d'avant-projet, il est indispensable de disposer d'un plan à jour du site où figurent la répartition de l'espace jusqu'aux limites des emprises disponibles, les dispositions d'accès des riverains, les plantations et les principaux mobiliers urbains. Le schéma de repérage des feux tricolores et le plan du cadastre ne sont généralement pas suffisants.

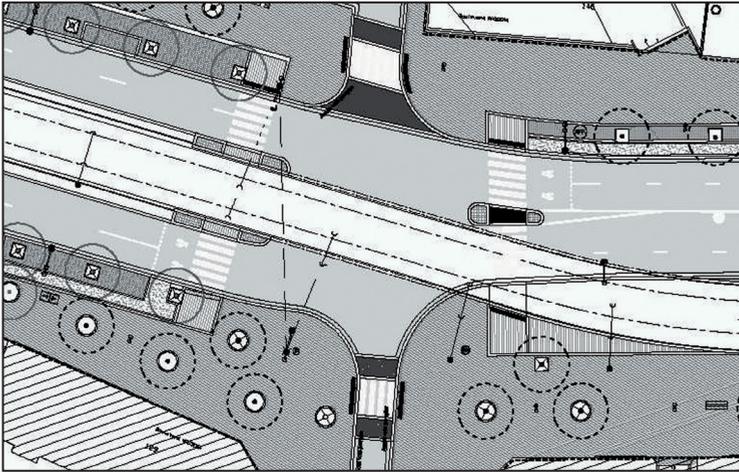


Fig. 5 : exemple de plan (ville de Paris).

2.5 Recenser les besoins en stationnement, en livraisons, et en taxis

La connaissance de l'offre de stationnement, licite ou illicite, payant ou pas, de courte ou de longue durée, la disponibilité de places de substitution à proximité, sont des éléments importants qui doivent faire l'objet d'un relevé. La présence d'une zone de taxis à proximité peut avoir des impacts sur l'aménagement, mais également sur le fonctionnement, ces véhicules ayant des fréquences de rotation beaucoup plus élevées que les véhicules en stationnement traditionnel. Les livraisons sont également à prendre en compte et notamment le positionnement des zones de desserte par rapport au carrefour. La manœuvre des véhicules de livraison peut être rendue malaisée par la présence de la file d'attente. Les véhicules de grande taille rendent difficilement visibles les feux et réduisent la visibilité des piétons.

2.6 Recenser les lignes régulières de transport en commun

Il est nécessaire de relever les trajets, les points d'arrêt, la fréquence des différentes lignes, les correspondances, les mouvements dominants de piétons entre les différents arrêts, la mise en accessibilité, etc.

2.7 Prendre en compte les besoins des piétons et les exigences d'accessibilité

Le levé des cheminements des piétons peut aider le concepteur dans ses choix. Il faut être particulièrement vigilant aux générateurs de flux piétons importants, notamment les établissements scolaires, les zones d'échanges de passagers des transports en commun. En cas de présence de groupes importants, les trottoirs ou les éventuels îlots refuge doivent être dimensionnés correctement.

2.8 Recenser les itinéraires cyclables

La promotion des déplacements en vélos passe également par la mise en place d'aménagements spécifiques, y compris au niveau des carrefours à feux. Les données sur les itinéraires cyclables existants ou en projet sont indispensables.

2.9 Recenser les activités et les projets futurs

Certaines activités engendrent des flux particuliers, dans leur composition mais également dans le temps. Elles doivent faire l'objet d'un relevé systématique : établissement d'enseignement, commercial, de loisirs, gare...

Une attention particulière doit être portée sur les évolutions à court et moyen termes susceptibles d'affecter le fonctionnement du carrefour. La prise en compte des permis de construire, des projets d'urbanisme, permettra de proposer des solutions adaptées à ces situations futures ou du moins évolutives.

3 Règles d'or de conception

3.1 Géométrie et phasage sont indissociables

Dans un carrefour à feux, les différents flux qui le traversent sont séparés dans le temps mais se partagent un espace commun. Cette séparation dans le temps en fait un aménagement à part, avec des règles de conception qui sont bien souvent contre-intuitives pour le néophyte.

On appelle **phase** une période pendant laquelle un ou plusieurs courants jugés compatibles sont admis simultanément. Le **phasage** est la succession des différentes phases à l'issue desquelles tous les mouvements auront été admis une fois et une seule.

L'enchaînement des différentes phases constitue le cycle des feux.

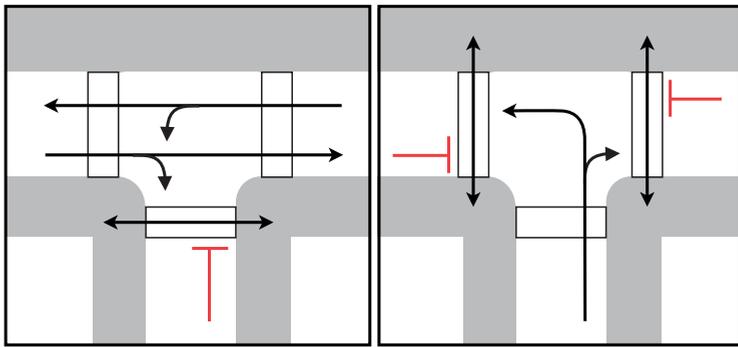


Fig. 6 : ce carrefour en T fonctionne en deux phases.

La morphologie du carrefour doit rendre implicite la compréhension de ce phasage. Ces deux aspects du carrefour à feux sont interdépendants : l'un implique l'autre et réciproquement. Le fonctionnement d'un carrefour à feux ne peut se comprendre sans son phasage, de même que le phasage ne se lit qu'à l'appui du plan de l'aménagement.

3.2 Fonctionner à deux phases

Le fonctionnement à deux phases est le plus simple et le plus lisible pour les usagers :

« Dès que je vois les véhicules s'arrêter, c'est à mon tour de passer, que je sois piéton ou conducteur, dans le respect des règles de priorité. »

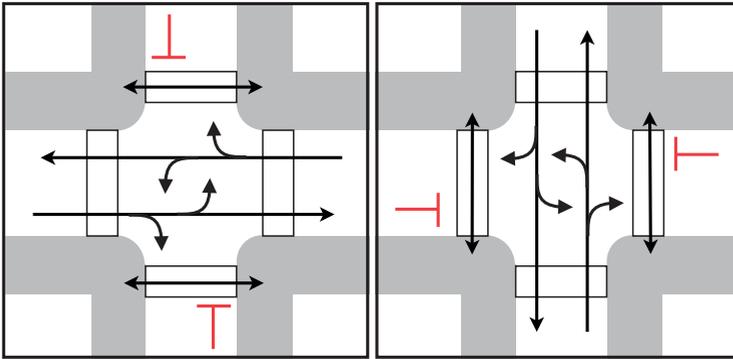


Fig. 7 : carrefour en croix fonctionnant à deux phases.

Dans un carrefour à deux phases, un feu sur deux est au vert (en dehors des temps de jaune et des temps de rouge de dégagement = temps neutralisé) ; en moyenne, une voie débite pendant 50% du cycle, hors temps neutralisé. Pour un carrefour à trois phases, cette proportion passe à 33% et à 25% pour un quatre phases.

Le tableau suivant fait une synthèse du trafic moyen admissible par voie en fonction du nombre de phases, la durée de cycle étant fixée à 90 s et les temps neutralisés à 5 s entre chaque phase.

2 phases	3 phases	4 phases
800 véh/h par voie	500 véh/h par voie	350 véh/h par voie

Tab. 1 : Capacité moyenne d'une voie en fonction du nombre de voies.

N.B. Il s'agit du trafic moyen admissible par voie ; il est bien évident que la répartition des durées de vert entre les différentes phases pourra autoriser des trafics supérieurs pour certaines voies et inférieurs pour d'autres.

3.3 Orthogonaliser les voies en conflit

Le signal vert donne à l'usager uniquement le droit de franchir la ligne d'effet des feux, pour les véhicules ou le droit de franchir la bordure de trottoir, pour les piétons. Dans la traversée du carrefour, l'usager est soumis aux règles du Code de la route. Ainsi, tout conducteur en mouvement tournant doit céder la priorité à un mouvement piéton autorisé simultanément sur l'axe transversal.

L'application de la priorité aux véhicules venant de droite et de la priorité aux piétons sur les véhicules tournant à gauche ou à droite nécessite une identification précise et sans ambiguïté des directions, « à droite », « à gauche » et « directe ».

Elle est spontanément obtenue dans les carrefours « en croix » ou « en T », classiques dans les réseaux maillés à angle droit.

Lorsque ce n'est pas le cas, on s'en approche le plus possible en redressant l'arrivée des voies sur les carrefours, en cassant les girations trop amples, en insérant des îlots, en avançant les lignes de feux au sein des carrefours, etc.

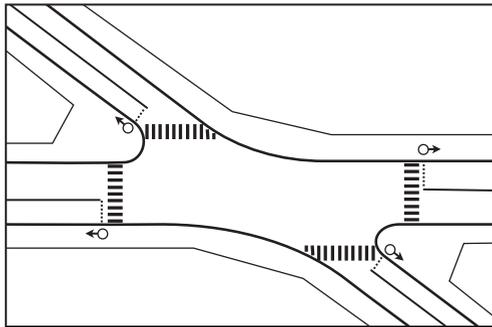


Fig. 8 : exemple de carrefour non orthogonal.

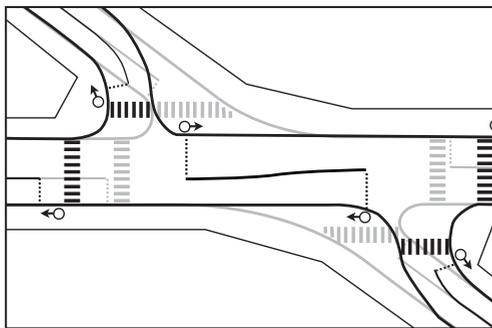


Fig. 9 : exemple précédent orthogonalisé.

Une traversée piétonne doit être perpendiculaire à la chaussée à traverser pour d'autres raisons également :

- les malvoyants distinguent la limite entre chaussée et trottoir (ou refuge) par la présence des bandes d'éveil de vigilance qui doivent être positionnées parallèlement à cette limite. Ils n'ont pas d'autre repère que le bruit de la circulation pour identifier la direction à suivre en traversée de la chaussée, une fois engagés. L'orthogonalité de la traversée leur évite de s'en éloigner et leur permet d'atteindre le refuge ou le trottoir opposé au bon endroit ;
- l'orthogonalité minimise la distance à parcourir pour les piétons en traversée. Cette règle s'oppose à l'alignement des cheminements piétonniers en continuité des trottoirs de part et d'autre chaque fois que les voies se coupent selon des angles éloignés de l'angle droit.

3.4 Aligner les voies en phase

Admettre les mouvements adverses dans une même phase rend lisible le fonctionnement du carrefour. En effet lorsque les mouvements adverses sont séparés, on observe de nombreux passages au rouge.

Pour optimiser le rendement des carrefours à feux, on cherche à admettre dans la même phase deux courants adverses. Les véhicules qui tournent à gauche doivent alors céder le passage aux véhicules du flux adverse. Plus les axes des voies admises au vert simultanément sont parallèles, plus la perception de devoir céder le passage au trafic adverse est intuitive.

Ce mode de fonctionnement est également bien compris des piétons, puisque ces derniers traversent en même temps que circulent les mouvements parallèles. Les décalages doivent être évités, car ils sont mal compris des piétons.

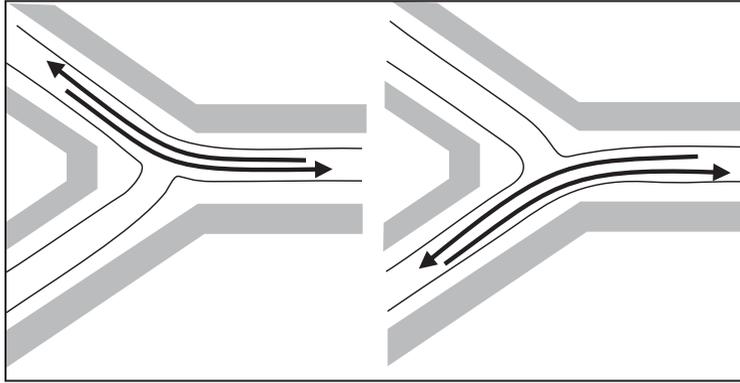


Fig. 10 : alignement des voies en phase en fonction de la géométrie de l'intersection.

3.5 Réduire la taille de la zone de conflits

La réduction de la zone de conflits doit être un objectif de base à poursuivre dans tout projet d'aménagement ou de réaménagement de carrefour à feux. En effet, cette réduction est favorable aux piétons dont on raccourcit la longueur des traversées. On diminue la vitesse des mouvements de tourne-à-gauche et de tourne-à-droite, ce qui améliore la sécurité des piétons. On diminue le temps neutralisé dans le carrefour, donc on améliore la crédibilité de la signalisation pour tous les usagers. On facilite également la mise en œuvre de la priorité aux véhicules de transport en commun grâce à un fonctionnement plus réactif. La réduction de la zone de conflits offre aux cyclistes une meilleure visibilité des conflits et un dégagement plus rapide de l'intersection.

Il existe toutefois deux limites à la réduction de cette zone :

- la giration des véhicules les plus contraignants (bus, cars, camions de déménagement, pompiers, etc.), sachant qu'il faut et qu'il suffit que ces véhicules tournent dans des conditions correctes, bien qu'à vitesse lente. En effet, tout carrefour à feux est supposé situé sur un axe urbain structurant. Il est donc normal de prévoir qu'un véhicule de grand gabarit puisse s'y engager dans toutes les directions. La giration des cars et autobus est admise comme la plus contraignante car il s'agit généralement de véhicules non articulés ;

- le stockage des véhicules tournant à gauche en fin de vert à l'intérieur du carrefour, lorsque c'est la façon choisie pour traiter l'écoulement des tourne-à-gauche. Ce traitement des tourne-à-gauche étant la solution à privilégier en priorité sur toute autre, il autorise à évaser le tracé des carrefours à feux pour aménager la surface de stockage nécessaire.

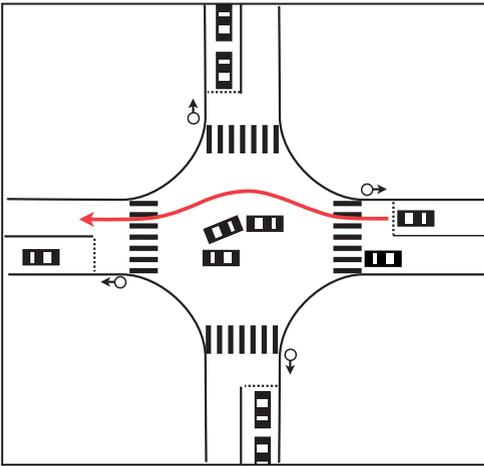


Fig. 11 : véhicules tournant à gauche en fin de vert ne gênant pas l'écoulement des tout-droit.

Pour la sécurité des piétons et des vélos, on admet qu'une zone de conflits ne devrait pas dépasser 40 m et une traversée piétonne 12 m hors refuge.

La règle des 12 m pour les traversées piétonnes est incontournable car elle correspond aux normes en faveur des handicapés. La règle des 40 m n'est pas énoncée par ailleurs. Elle est très difficile à respecter strictement dans certaines configurations de carrefours, en particulier lorsque les voies ne sont pas orthogonales.

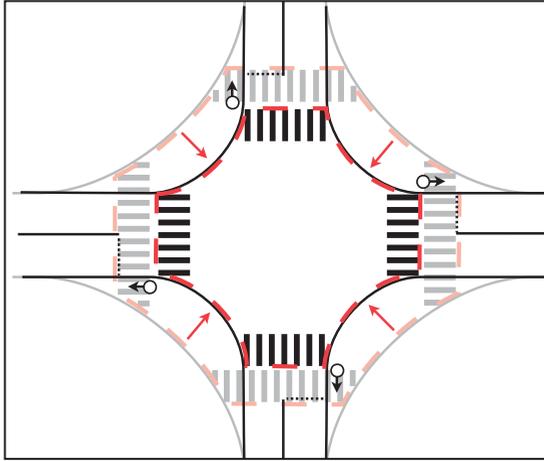


Fig. 12 : réduction de la zone de conflits.

3.6 Limiter le nombre d'entrées

La complexité du fonctionnement d'un carrefour à feux est beaucoup plus liée aux entrées qu'aux sorties de carrefours. Sauf exception, on ne peut pas admettre au sein d'une même zone de conflits plus de deux entrées dans la même phase. Dès lors qu'une zone de conflits est le lieu de convergence de plus de quatre entrées, on est généralement conduit à un fonctionnement à trois phases ou plus. Pour limiter le nombre d'entrées, plusieurs pistes existent cependant :

- éviter le tracé de nouvelles infrastructures convergeant au sein de carrefours préexistants, qu'il s'agisse de voies nouvelles ou de sites propres aux TC ;
- envisager des mises à sens unique de certaines rues. Ces mesures, à contre-courant des idées en vogue aujourd'hui, ont des répercussions lourdes sur le fonctionnement de tout le réseau de voirie environnant et modifient les habitudes des riverains. Elles sont non seulement beaucoup plus lourdes techniquement qu'il n'y paraît, mais elles sont donc également difficiles à faire accepter par les riverains. Seule l'opportunité d'une modification en profondeur de l'aménagement, avec une forte valorisation des modes de déplacements doux ou du paysage urbain, peut permettre de les justifier ;

- préférer les voies réservées (bandes cyclables, voies réservées aux bus), avec séparateur franchissable ou pas, aux couloirs réservés (pistes cyclables ou sites propres) séparés par terre-plein de la chaussée latérale. L'interruption du couloir réservé avant l'arrivée aux feux, avec création d'un sas contrôlé ou pas par feux, peut s'avérer une bonne solution. Cette mesure est également recommandée pour traiter le débouché de contre-allées. Les doubles sens cyclables ne posent quant à eux pas de problème, car les deux sens opposés sont admis dans la même phase : il n'y a donc pas ajout d'une phase supplémentaire.

3.7 Ne pas surdimensionner les files pour véhicules motorisés

Pour une voie artérielle, ayant pour fonction essentielle d'écouler le trafic, la largeur standard d'une voie est fixée à 3 m. Toutefois, cette valeur ne doit pas occulter la diversité des situations : nombre de voies par sens, répartition du trafic PL/VL, mouvements autorisés, présence de stationnement. Dans la réalité, on rencontre souvent des voies trop larges et parfois trop étroites.

Selon l'environnement et le type de circulation, on se référera aux recommandations suivantes :

- pour une chaussée à sens unique ne comportant qu'une seule voie, la largeur minimum est de 3,20 m entre trottoirs ou entre trottoir et file de stationnement ;
- pour une chaussée à sens unique comportant plusieurs voies, la largeur moyenne est de 2,75 m. La file de gauche peut toutefois être réduite à 2,50 m, à condition que celle de droite ait été dimensionnée à 3 m ou plus en raison d'une forte circulation de véhicules lourds ou d'un stationnement longitudinal ;
- pour une chaussée à double sens avec une seule file par sens, la largeur standard est de 3,00 m, réduite jusqu'à 2,75 m si le taux de PL est faible ;
- pour une chaussée à double sens, avec deux files sur un des sens : la largeur d'ensemble des deux files peut être limitée à 5,50 m.

Le lecteur trouvera plus d'information sur le guide *Le Profil en travers*, du Certu.

3.8 Prendre en compte la girations des véhicules

Les rayons de giration doivent être le plus faibles possible, sous réserve qu'ils permettent la giration de véhicules encombrants et le stockage des tourne-à-gauche au centre du carrefour. Ils sont compris entre 6 et 8 mètres pour les rayons internes. En présence d'un trafic poids lourd ou VTC (véhicule de transport en commun) particulièrement élevé, ces rayons sont portés à 8 ou 10 mètres.

Il faut néanmoins se souvenir qu'un rayon intérieur de 5,30 m et un rayon de balayage extérieur de 12 m sont suffisants pour permettre le passage d'un autobus articulé.

Il ne faut pas dimensionner pour des événements rares mais prévoir des solutions acceptables.

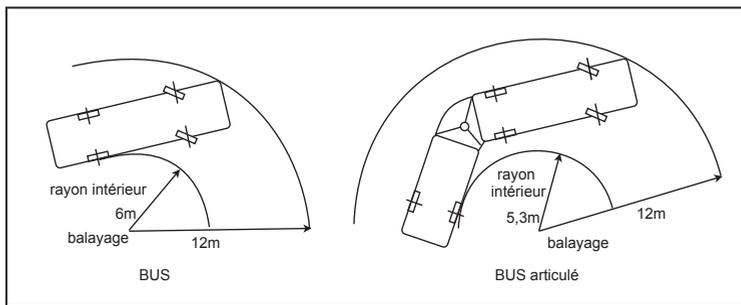


Fig. 13 : girations d'un bus et d'un bus articulé.

L'utilisation de rayons faibles ne présente en fait que des avantages :

- meilleur respect de la priorité des piétons sur les mouvements tournants des véhicules ;
- réduction des vitesses pratiquées par les mouvements tournants ;
- réduction des longueurs des traversées piétonnes ;
- réduction de la zone des conflits, donc des temps de dégagement.

Lorsque la voirie projetée est destinée au passage de véhicules spéciaux, l'utilisation du logiciel « Giration » peut s'avérer nécessaire pour dimensionner correctement les rayons de courbure.

3.9 Rabattre rapidement les voies en sortie de carrefour

Une voie directe ou mixte doit offrir un tracé permettant l'écoulement vers la sortie opposée ainsi que, s'il y a lieu, le contournement de la zone de stockage des mouvements de tourne-à-gauche. Si une entrée dispose de deux ou trois voies directes ou mixtes directes/tourne-à-droite, ces voies sont généralement surabondantes à la sortie en termes de capacité. En effet, la capacité d'une voie d'entrée est limitée par sa durée de vert (entre 400 et 1 000 véh/h) alors qu'une voie de sortie est alimentée en permanence par les mouvements directs, mais aussi par les mouvements tournants issus des voies sécantes. En sortie de carrefour à feux, les véhicules se remettent en circulation en file continue avec un débit de saturation de l'ordre de 1 800 véh/h par voie. Dans de nombreux cas, on est donc conduit à rabattre une voie sur une autre sortie de carrefour. On conseille de laisser une soixantaine de mètres au plus entre la ligne de feux et la fin du rabattement.

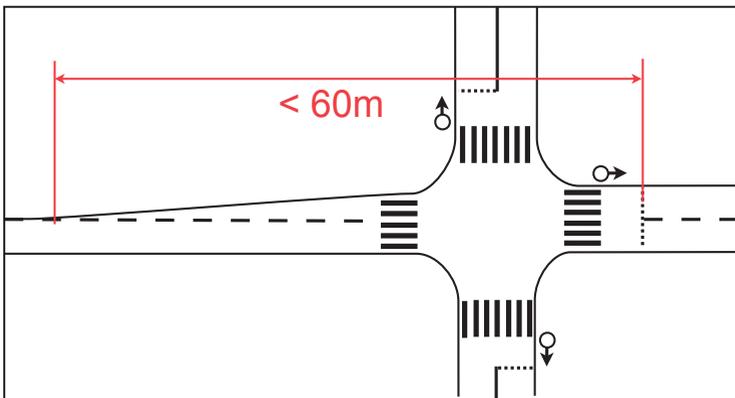


Fig. 14 : rabattement des voies en sortie de carrefour.

4 Évaluation sommaire au stade de l'avant-projet

L'évaluation sommaire permet de vérifier qu'une solution d'aménagement est compatible avec la demande de trafic prise pour hypothèse. La méthode proposée est simple et ne nécessite aucun outil de calcul particulier. Dans certains cas, d'autres contraintes interviennent, et seule l'évaluation détaillée, qui sera décrite plus loin dans cet ouvrage, permet de valider fonctionnellement une solution.

Le schéma suivant présente de manière détaillée le processus d'évaluation sommaire de la réserve de capacité d'un avant-projet.

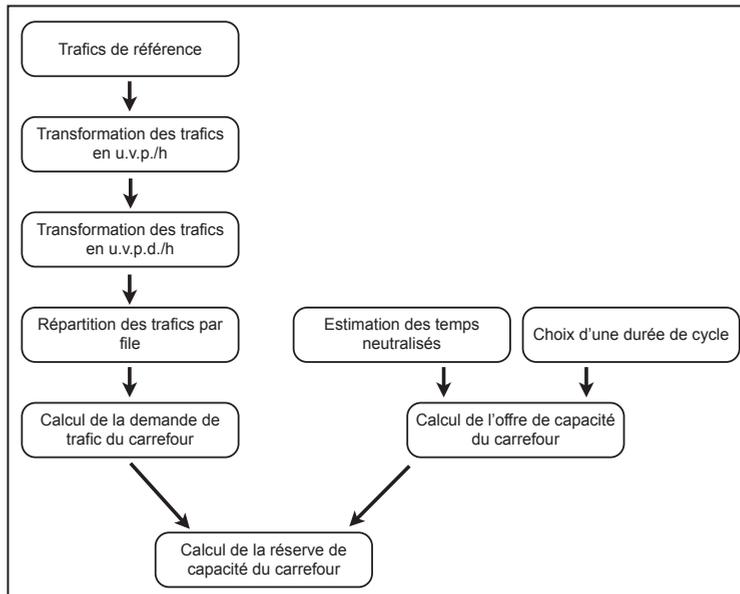


Fig. 15 : processus d'évaluation sommaire de la réserve de capacité d'un carrefour.

4.1 Définir des trafics de référence

Afin de dimensionner sans excès un carrefour à feux, il est nécessaire de connaître les trafics de véhicules qui vont s'écouler aux heures régulièrement les plus chargées.

S'il s'agit de l'aménagement d'un carrefour existant, une campagne de comptages permettra de mesurer les flux. L'observation du site aidera à définir les comptages qu'il faudra faire réaliser, ou à valider ceux dont on dispose et à repérer les phénomènes de saturation ou de blocage risquant de fausser les résultats d'un comptage. C'est aussi sur place que l'on estime si l'on peut faire relever la demande aux heures de pointe par comptage des mouvements directionnels ou s'il faudra recourir à une enquête origine/destination par relevé des numéros d'immatriculation ou par une autre méthode. En effet, lorsque certains mouvements ne sont pas observables directement et sans erreur par un enquêteur entre l'entrée dans le carrefour et la sortie, il faut utiliser des méthodes d'enquêtes origine/destination plus sophistiquées.

S'il s'agit d'un nouvel aménagement, alors il faut estimer les trafics. Dans de nombreux cas, des outils de planification permettent de dégrossir le problème. Ces estimations devront être validées par les décideurs avant toute ébauche de solution.

Les trafics de référence sont exprimés en véhicules par heure.

Si le trafic poids lourd est important, on distinguera les PL des VL.

Le plus souvent, les périodes retenues sont l'heure de pointe du matin (HPM) ou heure de pointe du soir (HPS), mais on pourra retenir d'autres périodes en fonction des spécificités locales (hypercentre, station balnéaire...).

Afin de faciliter leur lecture, on représentera ces données sur un schéma du carrefour.

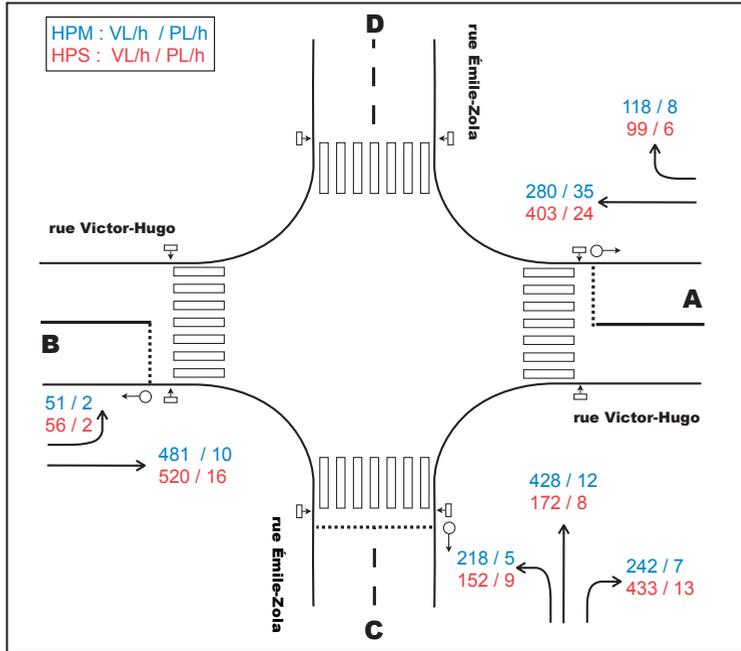


Fig. 16 : carrefour exemple : trafics VL et PL de référence à l'HPM et l'HPS.

4.2 Transformer les comptages en uvp/h

Le trafic routier est composé de différents types de véhicules : les voitures particulières, notées VL, les poids lourds, notés PL, et les deux-roues. Afin de tenir compte de l'influence différente de ces divers types de véhicules sur l'écoulement du trafic, on introduit des coefficients d'équivalence permettant d'homogénéiser les débits qui seront alors exprimés en uvp/h (unités de véhicules particuliers par heure). Les valeurs fréquemment utilisées sont données dans le tableau ci-après.

Type de véhicule	coefficient uvp
Vélos	0,3
Deux-roues motorisés	0,5
Véhicules légers	1
Poids lourds/Bus	2
Bus articulés	3

Tab. 2 : coefficient d'équivalence u.v.p des différents véhicules

L'application des coefficients u.v.p aux comptages du carrefour exemple donne le résultat suivant :

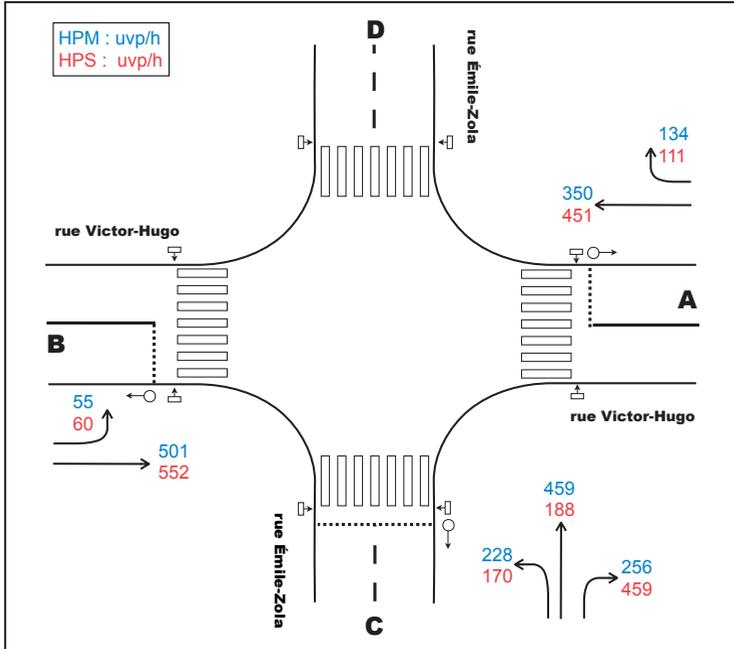


Fig. 17 : carrefour exemple : trafics de référence en uvp/h.

4.3 Transformer les comptages en uvp/h

Les véhicules franchissent plus ou moins rapidement la ligne de feu selon la direction qu'ils prennent dans le carrefour. Les véhicules changeant de direction mettent en général plus de temps pour franchir la ligne de feu que ceux qui vont tout droit.

Afin de tenir compte de cette gêne et pour faciliter les calculs ultérieurs, les trafics sont pondérés afin de rendre les données homogènes.

Type de mouvement		coefficient uvpd
Mouvement direct non gêné		1
Mouvement tournant à angle droit		1,1
Mouvement soumis à giration difficile		1,2
Mouvement tournant non prioritaire sur flux piéton important (>250 piétons/heure)		1,3 ou plus
Mouvement tournant à gauche et se stockant dans le carrefour*		1,7

Tab. 3 : coefficient de transformation en uvpd selon la nature du mouvement.

* N.B. On applique ce coefficient uniquement lorsque les véhicules qui tournent à gauche s'arrêtent dans le carrefour pour laisser passer les véhicules du mouvement adverse dans des carrefours simples.

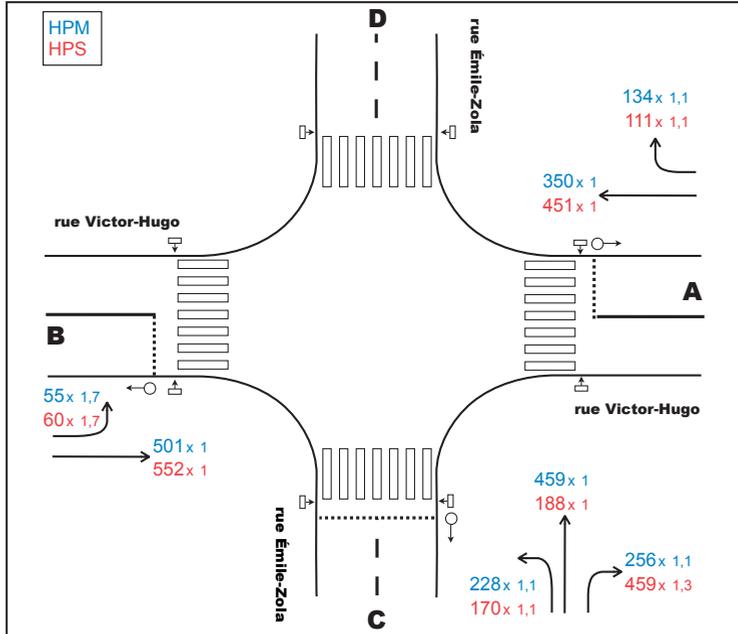


Fig. 18 : carrefours exemple, application des coefficients uvpd

Exemple : Le fonctionnement du carrefour exemple est à deux phases. Le soir, le passage piéton au niveau de l'entrée A est très fréquenté, ce qui justifie un coefficient de 1,3 pour le tourne-à-droite à l'HPS.

L'application des coefficients uvpd sur notre carrefour exemple donne les résultats présentés sur la figure suivante :

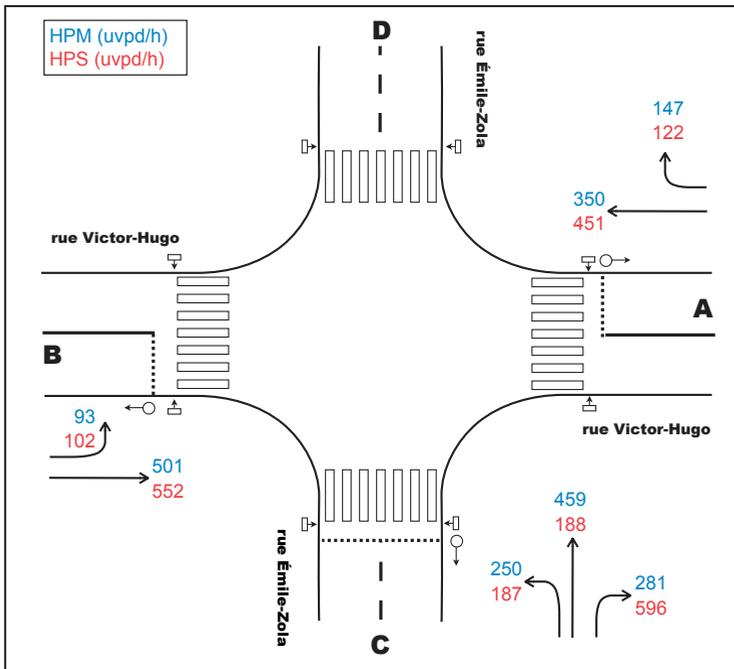


Fig. 19 : carrefour exemple : trafic HPM et HPS en uvpd/h.

4.4 Répartir les flux de trafic sur chaque file

La file la plus chargée est celle qui demandera de temps de vert le plus long pour écouler son propre trafic. Le trafic de la file la plus chargée par phase dimensionnera ainsi le temps de vert de la phase concernée. Il nous faut donc répartir les trafics par file afin de déterminer quelles seront les files critiques.

Pour affecter les flux par file, on procède comme suit :

- on affecte en premier les mouvements n'ayant pas le choix, c'est à dire ceux concernés par des voies affectées ;
- on affecte ensuite les mouvements qui ont le choix sur les files les moins chargées jusqu'à ce que ces files soient aussi remplies que les files concurrentes, à condition qu'il y ait suffisamment de véhicules, et on répartit de manière égale le reste de véhicules.

La répartition des flux sur chaque file sur notre carrefour exemple est présentée sur la figure suivante :

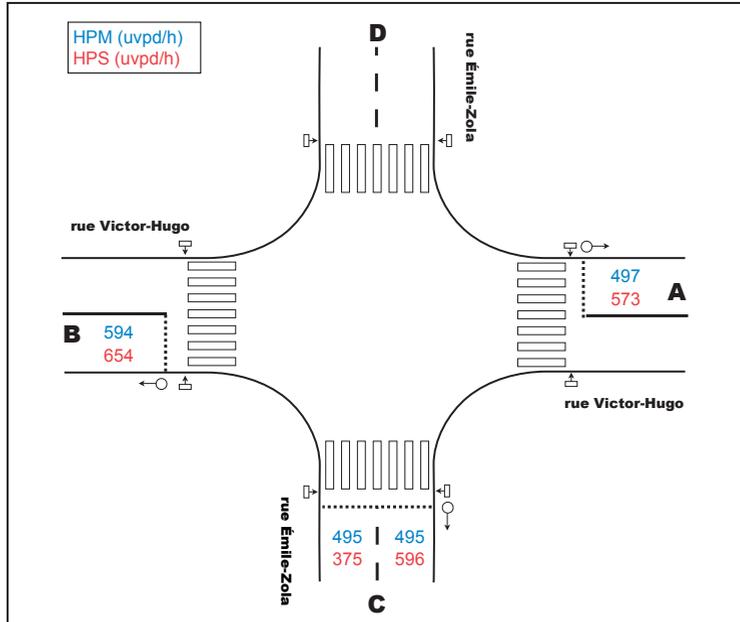


Fig. 20 : carrefour exemple : répartition des flux voie par voie.

Exemple :

La rue Victor-Hugo est une rue à double sens avec une seule voie par sens, la répartition des flux au niveau des entrées est donc triviale : il suffit de faire

la somme des mouvements. La rue Émile-Zola est une rue à sens unique avec deux voies. Il faut donc d'abord affecter les mouvements de tourne-à-gauche et de tourne-à-droite, qui ne peuvent respectivement emprunter que la file de gauche et la file de droite, conformément au Code de la route. Ensuite, on affecte véhicule par véhicule, le flux de tout-droit sur la file la moins chargée jusqu'à épuisement du mouvement de tout-droit.

Le matin, cela conduit à équilibrer les deux voies, mais le soir tous les véhicules qui vont tout droit sont affectés sur la file de gauche, qui restera malgré tout moins chargée que celle de droite.

4.5 Calculer la demande de trafic du carrefour

La demande d'une phase est égale au trafic en uvpd/h de la voie la plus chargée admise au cours de cette phase. La demande d'un carrefour D est la somme des demandes de chaque phase.

Ainsi, pour un carrefour à deux phases : $D = \text{demande (phase 1)} + \text{demande (phase 2)}$.

Pour un carrefour à trois phases : $D = \text{demande (phase 1)} + \text{demande (phase 2)} + \text{demande (phase 3)}$.

Pour un carrefour à quatre phases : $D = \text{demande (phase 1)} + \text{demande (phase 2)} + \text{demande (phase 3)} + \text{demande (phase 4)}$.

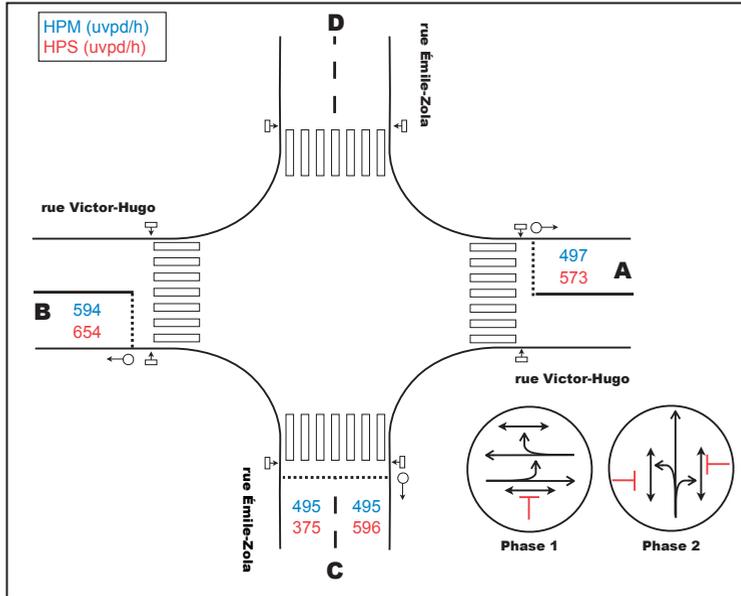


Fig. 21 : carrefour exemple : phasage et flux répartis par voie.

Exemple :

► Heure de pointe du matin :

Au cours de la phase 1 sont admis les mouvements de véhicules provenant de la rue Victor-Hugo. La voie la plus chargée est celle de l'entrée B.

Demande (phase 1) = 594 uvpd/h

Au cours de la phase 2 sont admis les deux voies de la rue Emile-Zola.

Demande (phase 2) = 495 uvpd/h

La demande du carrefour D : $D = 594 + 495 = 1089$ uvpd/h

► Heure de pointe du soir :

La voie la plus chargée admise au cours de la phase 1 est celle de l'entrée B.

Demande (phase 1) = 654 uvpd/h

La voie la plus chargée admise au cours de la phase 2 est la voie de droite de la rue Émile-Zola.

Demande (phase 2) = 596 uvpd/h

La demande du carrefour D : $D = 654 + 596 = 1250$ uvpd/h

4.6 Estimer les temps neutralisés (T_n)

Lorsque deux courants incompatibles se succèdent, il faut qu'un certain laps de temps s'écoule entre eux afin que les usagers du premier courant puissent libérer le point de conflit ; cet intervalle de temps est appelé temps de rouge de dégagement. Il en résulte qu'à chaque passage d'une phase à l'autre est associé un temps neutralisé.

Le temps de dégagement entre deux courants incompatibles est égal au temps permettant aux usagers engagés à la dernière seconde de vert pour les piétons et de jaune pour les véhicules d'avoir dégagé la zone des conflits avant le passage au vert de la ligne de feux gérant les courants antagonistes. Ce calcul est généralement fait sur la base d'une vitesse de 10 m/s pour les véhicules et de 1 m/s pour les piétons.

Au stade de l'évaluation sommaire, les temps neutralisés sont estimés grossièrement, en mesurant rapidement les distances de dégagement entre mouvements véhicules antagonistes.

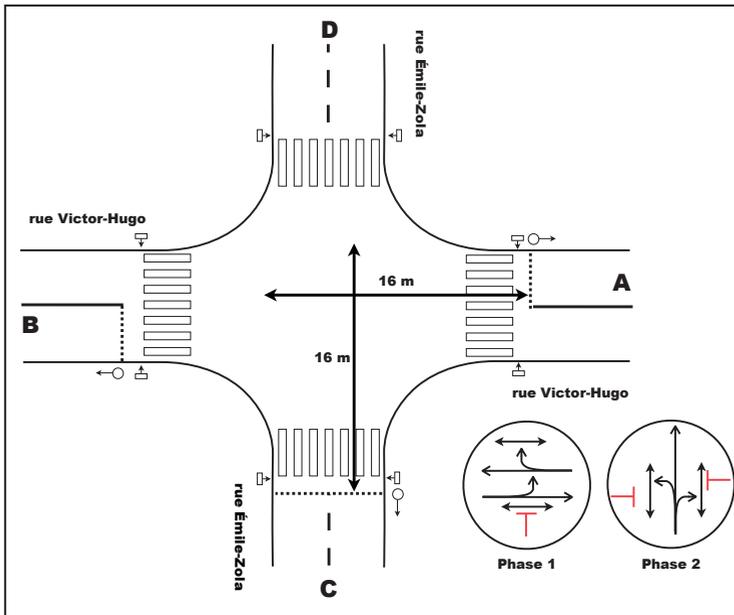


Fig. 22 : carrefour exemple : distances de dégagement.

Exemple :

Le temps neutralisé pour chaque phase est égal à la somme :

- de la durée du jaune soit 3 secondes ;
- de la durée du rouge de dégagement, soit ici 2 secondes, car les distances de dégagement sur notre exemple sont comprises entre 10 et 20 m et l'on arrondit toujours la durée du rouge de dégagement à la valeur entière supérieure.

Nous avons donc un temps neutralisé de 5 s pour chaque phase, ce qui représente un temps neutralisé de 10 secondes pour le carrefour.

4.7 Choisir un cycle de référence

Comme on le verra au paragraphe suivant, la durée de cycle a une influence sur l'offre de capacité du carrefour. Celle-ci croît légèrement avec l'augmentation de la durée du cycle. En revanche, le nombre de véhicules voulant tourner à gauche à chaque cycle augmente également, ce qui, nous le verrons plus loin, est une contrainte à prendre soigneusement en compte. Au stade de l'avant-projet, on cherchera toujours à fonctionner avec le cycle le plus court possible : une valeur comprise entre 50 s et 70 s pour un carrefour à deux phases est conseillée.

Nous retiendrons 60 s comme durée de cycle pour notre carrefour exemple.

4.8 Calculer l'offre de capacité du carrefour (Q_t)

Une voie de circulation ne peut admettre, au maximum, qu'un certain débit appelé **débit de saturation**, noté q_s , dont la moyenne s'établit à 1800 uvpd/h. On pourra retenir des valeurs supérieures ou inférieures en fonction du contexte.

Dans un carrefour à feux, la succession des phases engendre des temps neutralisés dont la somme est noté T_n . Si on appelle C_y la durée du cycle, $C_y - T_n$ représente la durée pendant laquelle le carrefour écoule des véhicules. Cette durée est à partager entre chacune des phases.

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

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

Il s'agit de la capacité d'une voie gérée par un feu qui serait au vert pendant la durée $C_y - T_n$ sur une durée totale de C_y .

Exemple :

$$C_y = 60 \text{ s}, T_n = 10 \text{ s}, q_s = 1800 \text{ uvpd/h}$$

$$Q_t = 1800 \times (60 - 10) / 60 = 500 \text{ uvpd/h}$$

C _y	Temps neutralisé par cycle en secondes													
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
45	1520	1480	1440	1400	1360	1320	1280	1240	1200	1160	1120	1080	1040	1000
50	1548	1512	1476	1440	1404	1368	1332	1296	1260	1224	1188	1152	1116	1080
55	1571	1538	1505	1473	1440	1407	1375	1342	1310	1277	1244	1211	1178	1145
60	1590	1560	1530	1500	1470	1440	1410	1380	1350	1320	1290	1260	1230	1200
65	1606	1578	1551	1523	1495	1468	1440	1412	1384	1356	1328	1300	1272	1244
70	1620	1594	1569	1543	1517	1491	1466	1440	1414	1388	1362	1336	1310	1284
75	1632	1608	1584	1560	1536	1512	1488	1464	1440	1416	1392	1368	1344	1320
80	1643	1620	1598	1575	1553	1530	1508	1485	1463	1440	1418	1395	1373	1350
85	1652	1631	1609	1588	1567	1546	1525	1504	1482	1461	1440	1419	1398	1376
90	1660	1640	1620	1600	1580	1560	1540	1520	1500	1480	1460	1440	1420	1400

Tab. 4 : offre de capacité d'un carrefour en fonction de la durée de son cycle et du temps neutralisé en secondes. Le débit de saturation a été pris à 1800 uvpd/h/voie.

4.9 Calculer la réserve de capacité du carrefour (R_c)

La réserve de capacité R_c du carrefour est égale à la différence entre l'offre de capacité Q_t du carrefour et la demande D de trafic sur le carrefour, rapportée à l'offre de capacité.

$$R_c = (Q_t - D) / Q_t$$

Exemple :

► **Heure de pointe du matin :**

La demande du carrefour est de 1089 uvpd/h

L'offre de capacité du carrefour est 1500 uvpd/h

La réserve de capacité $R_c = (1500 - 1089) / 1500 = 27,4\%$

► **Heure de pointe du soir :**

La demande du carrefour est de 1250 uvpd/h

L'offre de capacité du carrefour est 1500 uvpd/h

La réserve de capacité $R_c = (1500 - 1250) / 1500 = 16,6 \%$

N.B. Lorsque la demande de trafic d'une phase est très faible et que c'est le temps de vert et la durée du rouge de dégagement des piétons qui imposent la durée à la phase, il faut modifier cette méthode de la manière suivante :

On considérera comme nulle la demande de trafic de la phase concernée et on assimilera la durée de la phase à du temps neutralisé. C'est seulement lorsque la durée des verts est connue qu'on est absolument sûr d'être dans ce cas. L'évaluation détaillée présentée plus loin permet de lever toute incertitude.

Traitement des tourne-à-gauche 5

La problématique des tourne-à-gauche concerne uniquement les carrefours à feux où un mouvement de tourne-à-gauche est en conflit avec un mouvement adverse.

Au début d'un avant-projet, il faut assez rapidement décider du mode d'admission des mouvements de tourne-à-gauche. Pour maintenir un fonctionnement à deux phases, il est essentiel de les admettre en même temps que leurs mouvements adverses. Nous donnons ici quelques points de repère permettant d'aborder cette question au départ de l'avant-projet, sachant qu'une phase de vérification est nécessaire par la suite, quitte à faire des allers et retours au cours de l'avant-projet.

Dans un fonctionnement à deux phases, les véhicules qui tournent à gauche cèdent le passage aux véhicules issus du mouvement adverse. Cette traversée en deux temps des tourne-à-gauche suppose que ces véhicules puissent se stocker dans le carrefour, sans pour autant gêner l'écoulement des véhicules en tout-droit qui les suivent. Les véhicules stockés évacuent le carrefour en fin de vert et pendant les temps de dégagement.

Maintenir ce type de fonctionnement global à deux phases est l'objectif premier du traitement des tourne-à-gauche. Recourir à d'autres modes d'admission des mouvements de tourne-à-gauche ne doit être envisagé qu'en dernier ressort, lorsque les contraintes l'imposent, par exemple : nombre de véhicules important, capacité de stockage limitée.

5.1 Stocker efficacement les tourne-à-gauche

Stocker 2 à 3 véhicules ne présente pas trop de difficultés dans la plupart des carrefours. Ces 2 ou 3 véhicules pourront facilement s'écouler pendant le rouge de dégagement. On pourra donc considérer, dans une première approche, que, si chaque mouvement de tourne-à-gauche est inférieur à 150 uvp/h, les tourne-à-gauche sont compatibles avec leurs mouvements adverses et leur stockage ne pose pas de difficulté.

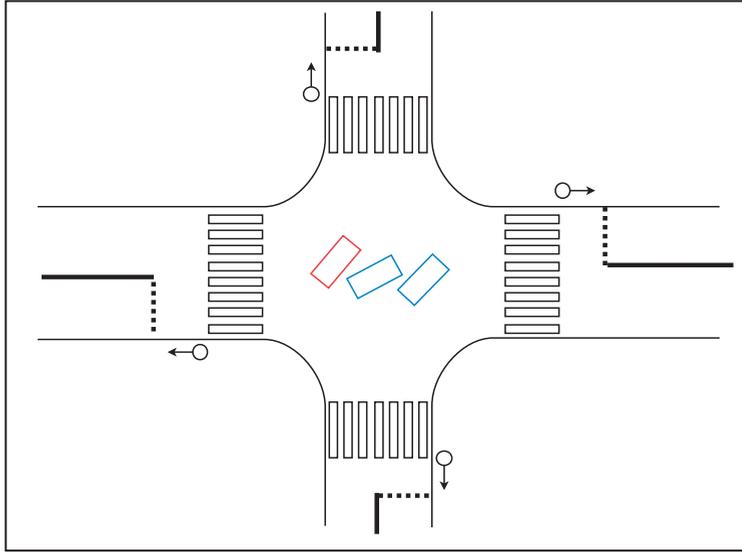


Fig. 23 : stockage des tourne-à-gauche dans un petit carrefour à feux.

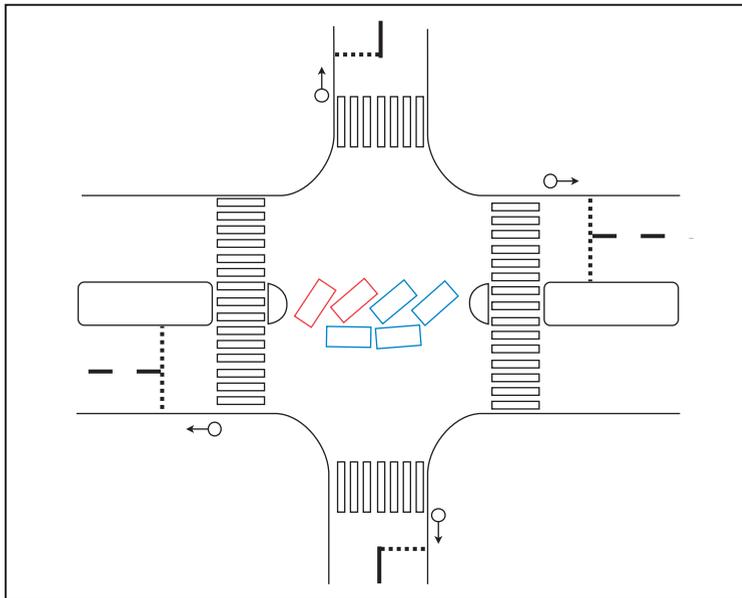


Fig. 24 : stockage des tourne-à-gauche.

Dans des carrefours plus vastes, on peut sans difficulté stocker 3 à 5 véhicules

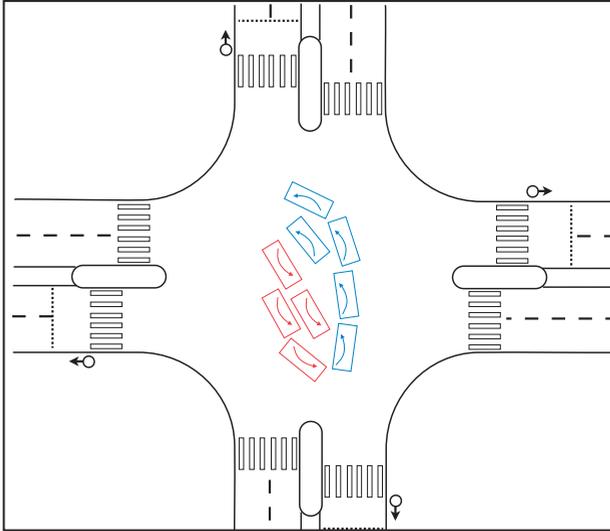


Fig. 25 : stockage des tourne-à-gauche dans un grand carrefour à feux.

5.2 Cyclier court

Le nombre de véhicules qui tournent à gauche à chaque cycle dépend du nombre de cycles par heure et donc de la durée du cycle. Si G désigne le nombre de véhicules tournant à gauche par heure, g le nombre de véhicules qui tournent à gauche par cycle, on a :

$$g = G \times Cy / 3600.$$

Le tableau suivant donne les valeurs de g arrondies à l'unité supérieure :

Cy	G						
	50	100	150	200	300	400	500
50	1	2	3	3	5	6	7
60	1	2	3	4	5	7	9
75	2	3	4	5	7	9	11
90	2	3	4	5	8	10	13

Tab. 5 : nombre de véhicules en tourne-à-gauche à stocker sans gêne en fonction du volume horaire des tourne-à-gauche et de la durée du cycle.

On remarque, à la lecture du tableau, l'intérêt manifeste de cyclier court.

5.3 Proscrire les tourne-à-gauche à l'indonésienne à deux phases

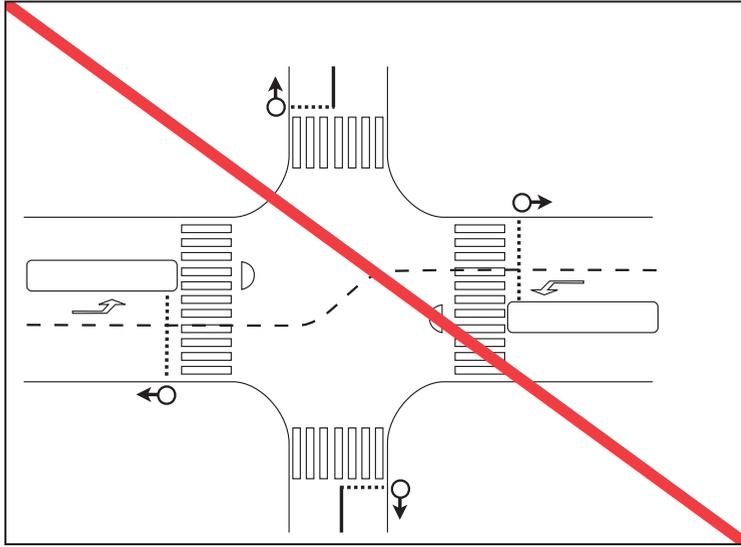


Fig. 26 : exemple de tourne-à-gauche à l'indonésienne.

Les tourne-à-gauche doivent se contourner par la droite comme l'exige le Code de la route. Il faut proscrire les tourne-à-gauche à l'indonésienne, source d'accidents par non-respect par les usagers qui tournent à gauche de la priorité due au mouvement tout-droit adverse.

5.4 Décomposer les carrefours pour les forts tourne-à-gauche

Lorsque les mouvements de tourne-à-gauche sont très importants, souvent, l'ensemble du carrefour est chargé. Il devient impossible de gérer la totalité des mouvements dans la même zone de conflits : il est nécessaire de séparer certains mouvements dans l'espace. Le carrefour comportera alors plusieurs zones de conflits, d'où le nom de **carrefour composé**. Cet éclatement dans l'espace n'est pas incompatible avec les principes exposés précédemment, car on cherchera à rendre chaque intersection élémentaire le plus compacte possible avec un fonctionnement le plus simple possible, c'est-à-dire à deux phases.

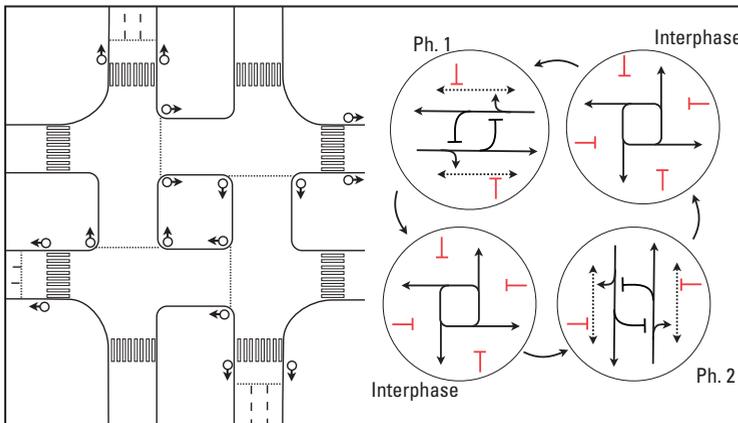


Fig. 27 : exemple de carrefour à feux composé : carrefour à feux à îlot central.

Les trafics variant au cours de la journée, il est fort possible que les mouvements qui doivent être coordonnés ne soient pas les mêmes au cours de la journée. Il n'est toutefois pas souhaitable d'avoir un phasage global du carrefour variable au cours de la journée. Seules seront admises des variations dans le décalage entre les lignes de feux permettant de contrôler les différents sas du carrefour.

Il faut respecter un principe important pour le phasage d'un tel aménagement : les mouvements des tout-droit ne doivent pas être arrêtés lorsqu'ils sont admis dans le carrefour. On retrouve ainsi, pour cet exemple, un fonctionnement global à deux phases proche de celui d'un carrefour en croix simple.

Nous ne traiterons pas, dans cet ouvrage, de tous les cas de carrefours composés. En faire une typologie serait un exercice relativement long et sans intérêt majeur. En revanche, il nous a semblé utile d'illustrer nos propos sur la base d'un exemple suffisamment général, présenté au paragraphe 5.10. De plus, les carrefours à feux à îlot central font l'objet d'un guide spécifique du Certu vers lequel nous renvoyons le lecteur à la recherche de détails supplémentaires.

5.5 Prolongation de la fermeture

La prolongation à la fermeture, ou décalage à la fermeture, consiste à passer une entrée au rouge avant l'entrée adverse.

Cette technique offre une possibilité de maintenir un fonctionnement global à deux phases lorsque les conditions suivantes sont réunies :

- les possibilités de stockage à l'intérieur du carrefour sont insuffisantes pour un mouvement de tourne-à-gauche ;
- le mouvement de tourne-à-gauche adverse ne pose pas de problème de stockage.

Il est nécessaire de vérifier que les véhicules tournant à gauche puissent se stocker sans gêner l'écoulement du trafic en tout-droit. En cas d'insuffisance de stockage, l'affectation d'une voie à ce tourne-à-gauche peut être envisagée.

Ce mode de fonctionnement présente cependant un danger. Une précaution toute particulière est à prendre pour les piétons : la traversée piétonne de l'entrée faisant l'objet de la fermeture anticipée, si la chaussée est à double sens bien sûr, fera l'objet d'un fonctionnement en deux temps avec refuge sur l'îlot, comme le suggère la figure suivante.

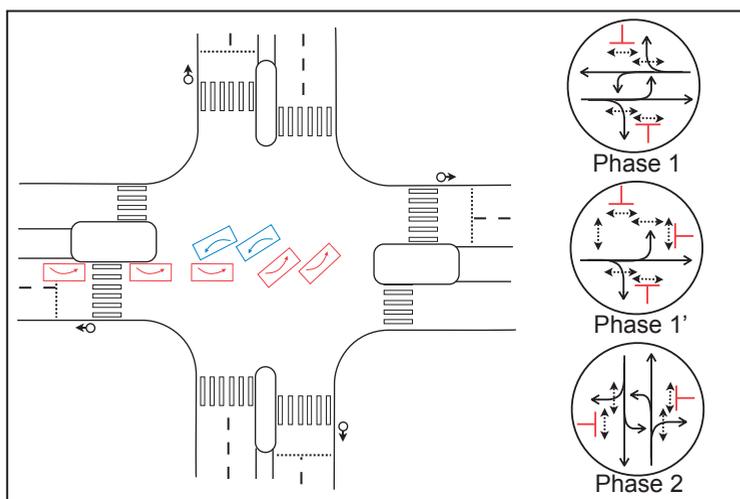


Fig. 28 : exemple de prolongation à la fermeture.

Pendant la phase 1, les véhicules qui tournent à gauche (représentés en rouge sur la figure) se stockent dans le carrefour puis sur la voie de gauche.

Lors de la phase 1', les mouvements adverses ne sont plus admis dans le carrefour, permettant ainsi aux véhicules stockés de dégager le carrefour. La durée de la phase 1' est fonction du nombre de véhicules en tourne-à-gauche.

5.6 Éviter les phases spéciales de tourne-à-gauche

Une phase spéciale est une phase au cours de laquelle ne sont admis que des courants composés d'un seul mouvement directionnel, ou bien des courants modaux, préalablement séparés des autres mouvements de même origine. Cette séparation doit en règle générale être matérialisée par un terre-plein ou un îlot, affectant à chaque courant de circulation un couloir de circulation propre.

Lorsqu'un mouvement directionnel est admis en phase spéciale, notamment un tourne-à-gauche, il ne doit être en conflit avec aucun autre mouvement de véhicules, de piétons et de cycles.

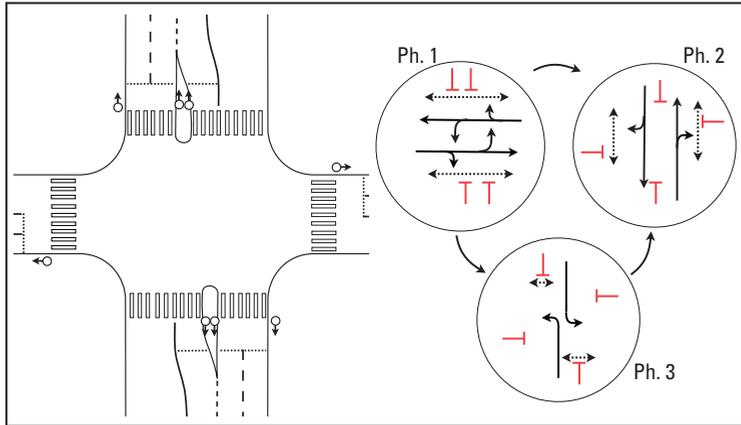


Fig. 29 : exemple de phase spéciale de tourne-à-gauche. Pour la phase 3, l'îlot doit être de taille suffisante pour stocker les piétons avant le passage en phase 1.

Ce mode de fonctionnement, qui ajoute une phase et allonge le cycle, offre un rendement médiocre et présente des dangers pour la sécurité des piétons. Il ne doit être envisagé qu'en dernier recours, après avoir épuisé toutes les solutions possibles à deux phases.

La pratique montre que, dans bien des cas, un fonctionnement à deux phases est tout à fait possible et améliore nettement le fonctionnement de tels carrefours.

5.7 Éviter le fonctionnement accès par accès

Dans le fonctionnement accès par accès, les entrées adverses ne sont pas admises en même temps.

Il s'agit souvent de carrefours où les emprises disponibles aux angles sont très réduites et où l'on ne peut dégager suffisamment d'espace au centre pour stocker le moindre tourne-à-gauche : le premier véhicule se présentant en tourne-à-gauche bloque les mouvements directs. On pourra citer en exemple la présence d'une ligne régulière de bus en tourne-à-gauche. Ce type de fonctionnement peut induire les piétons en erreur. La mise en place de baïonnette est souvent nécessaire pour prévenir ce danger. Il faut toujours se poser la question de la réalisation de feux sur ce type d'aménagement : la proximité d'autres carrefours à feux ne suffirait-elle pas à créer les créneaux de passage suffisants pour assurer le bon fonctionnement du carrefour sans feux ainsi que la protection des piétons en traversée ?

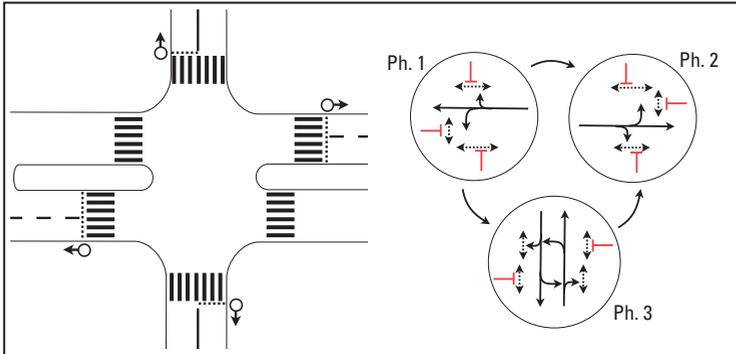


Fig. 30 : exemple de fonctionnement accès par accès.

5.8 Proscrire les tourne-à-gauche par la droite

Ce type de fonctionnement était répandu sur les rocares urbaines et les grands boulevards péri-urbains. Cependant l'accidentologie montre que l'interdiction de tourner à gauche au centre du carrefour n'est pas toujours respectée, car peu crédible, et conduit à des accidents particulièrement graves. On assiste de plus en plus à leur suppression et à la mise en place de carrefours de type giratoire ou de carrefours à feux à îlot central.

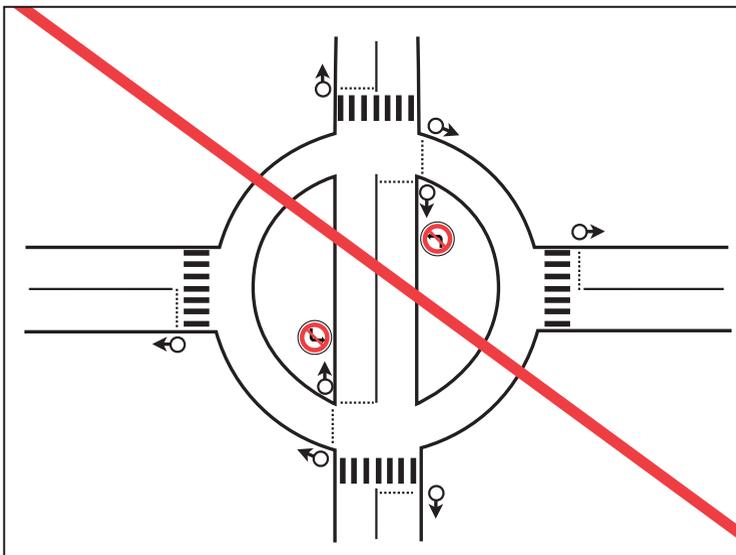


Fig. 31 : exemple de tourne-à-gauche par la droite.

5.9 Les demi-carrefours

On rencontre fréquemment ce type d'aménagement sur les voies pénétrantes ou les grands boulevards dans les zones moins denses. Il permet de réduire l'effet de coupure de tels axes.

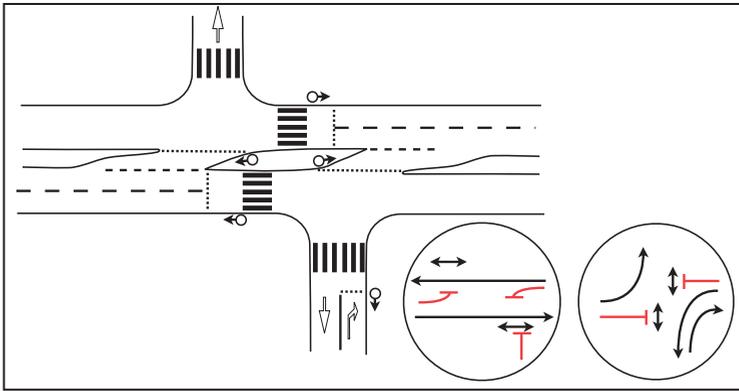


Fig. 32 : exemple de demi-carrefour.

5.10 Simplifions un carrefour à 4 phases

Dans de nombreuses agglomérations, on rencontre encore des carrefours à 4 phases, connus bien souvent pour être des points noirs de la circulation. La figure suivante présente un carrefour à 4 phases dont nous allons simplifier le fonctionnement :

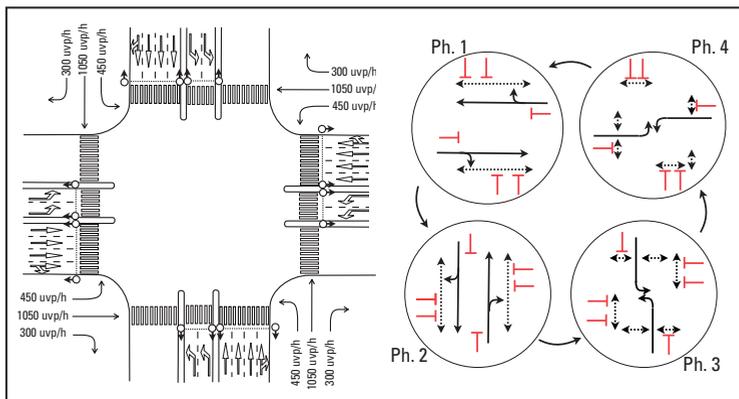


Fig. 33 : carrefour fonctionnant à 4 phases.

Fonctionnement actuel

Le cycle de ce carrefour est de 120 s.

Calcul de la demande de trafic du carrefour :

Les rayons de giration étant larges, on peut se dispenser d'appliquer les coefficients de transformation des uvp/h en uvpd/h.

Demande de la phase 1 : $(1500 + 300) / 4 = 450$ uvpd/h

Demande de la phase 2 : $(1500 + 300) / 4 = 450$ u.p.v.d./h

Demande de la phase 3 : $450 / 2 = 225$ uvpd/h

Demande de la phase 4 : $450 / 2 = 225$ uvpd/h

Demande du carrefour D : $450 + 450 + 225 + 225 = 1\ 350$ uvpd/h

Estimation des temps neutralisés :

Entre la phase 1 et la phase 2 : 8 s

Entre la phase 2 et la phase 3 : 8 s

Entre la phase 3 et la phase 4 : 6 s

Entre la phase 4 et la phase 1 : 8 s

Le temps neutralisé est de $8 + 8 + 6 + 8 = 30$ s

Offre de capacité du carrefour : $Q_t = 1800 \times (120 - 30) / 120 = 1350$ uvpd/h

Calcul de la réserve de capacité :

$$R_c = (Q_t - D) / Q_t = (1350 - 1350) / 1200 = 0\%$$

Le carrefour est saturé.

Esquisse d'une solution

Pour simplifier le fonctionnement du carrefour, il faut en première approche retenir un fonctionnement à deux phases. Les mouvements de tourne-à-gauche n'ont plus besoin d'être séparés des mouvements tout-droit. On peut donc neutraliser les voies de tourne-à-gauche.

Dans un fonctionnement à deux phases, on sait que l'on peut compter sur une capacité d'au moins 700 uvp/h par voie. On peut alors envisager de supprimer une voie sur deux sans dégrader la capacité du carrefour : un dimensionnement des entrées à 3 voies est donc suffisant en première hypothèse.

Compte tenu du nombre de véhicules à stocker dans le carrefour, il faut organiser le stockage. Un îlot est donc nécessaire au centre du carrefour.

Les véhicules qui tournent à gauche se stockent à l'intérieur du carrefour et doivent céder le passage aux véhicules de l'entrée adverse. Cependant, on constate que cela pose des problèmes de sécurité lorsque l'entrée adverse est à plus de deux voies. De plus, les tourne-à-gauche qui réussissent à traverser le flot de véhicules, notamment pendant les heures creuses, sont en conflit avec les piétons qui traversent les sécantes.

Il est donc préférable de gérer les tourne-à-gauche avec des feux supplémentaires. La règle de l'orthogonalité des voies en conflit nous amène à donner une forme carrée à l'îlot central. Aussi appelle-t-on ce type d'aménagement carrefour à feux à îlot central. Le lecteur trouvera plus d'informations dans le guide éponyme du Certu.

Le schéma suivant présente une esquisse de solution :

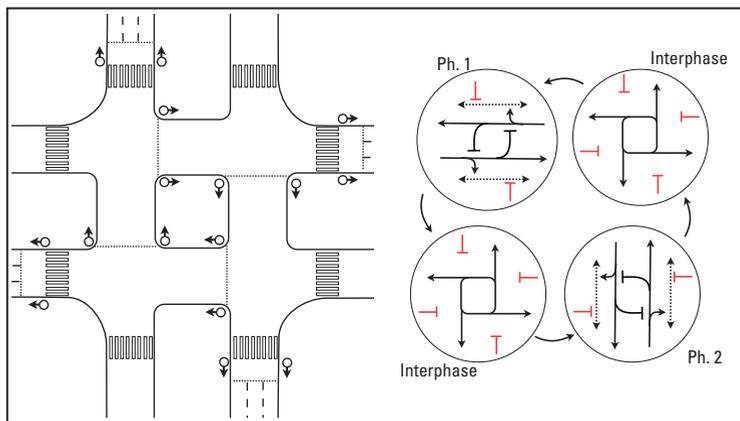


Fig. 34 : carrefour à îlot central.

Il faut bien sûr vérifier que l'on puisse stocker les mouvements de tourne-à-gauche à l'intérieur du carrefour. On retiendra de préférence un cycle court à 60 secondes. Ce qui fait 8 véhicules tournant à gauche à stocker dans le carrefour pour le mouvement de tourne-à-gauche le plus chargé.

Calcul de la demande de trafic du carrefour :

Demande (phase 1) = demande (phase 2) : $1350/3 = 450$ uvp/h.

La demande du carrefour est de 900 uvp/h.

Réserve de capacité du carrefour :

$T_n = 16$ s (8 secondes de temps neutralisés pour chaque interphase)

$Q_t = 1800 \times (60 - 16) / 60 = 1320$ uvpd/h

$R_c = (1320 - 900) / 1320 = 31\%$

La réserve de capacité du carrefour est très confortable, le carrefour pourra donc fonctionner avec souplesse. Le calcul des temps perdus, dont la méthode sera expliquée dans la dernière partie, montre que le retard des bus roulant dans la circulation générale est passé de 50 s à 10 s environ, par simple modification de l'aménagement. Les 10 secondes de retard restant peuvent être annulées grâce à la priorité dynamique aux feux. Avant simplification du fonctionnement, la priorité dynamique était impossible car les durées de vert minimum et les temps de dégagement recouvrent pratiquement tout le cycle et il ne reste aucune plage variable, interdisant toute possibilité d'avancer ou retarder un vert pour permettre au bus de passer dès qu'il arrive.

On trouvera plus de détails sur ce type de carrefour dans le guide du Certu sur les carrefours à feux à îlot central.

6 Prise en compte des piétons

Il s'agit de leur offrir le maximum de sécurité sans augmenter les distances à parcourir ni les temps de traversée et d'attente.

6.1 Ceinturer le carrefour de passages pour piétons

Les traversées piétonnes ceinturent généralement le carrefour sur toutes les branches. Les feux tricolores sont disposés en amont de la traversée piétonne. Celle-ci est matérialisée dans la continuité des trottoirs pour minimiser les écarts dans les cheminements des piétons. Le projeteur peut cependant déroger à cette règle pour des raisons précises de sécurité, par exemple lorsque le regroupement de nombreux piétons aux abords de zones de giration est dangereux, en particulier pour les malvoyants. Enfin, dans certaines configurations, carrefour en «Y» notamment, mieux vaut parfois supprimer un passage pour piétons que de le maintenir en offrant une sécurité illusoire.

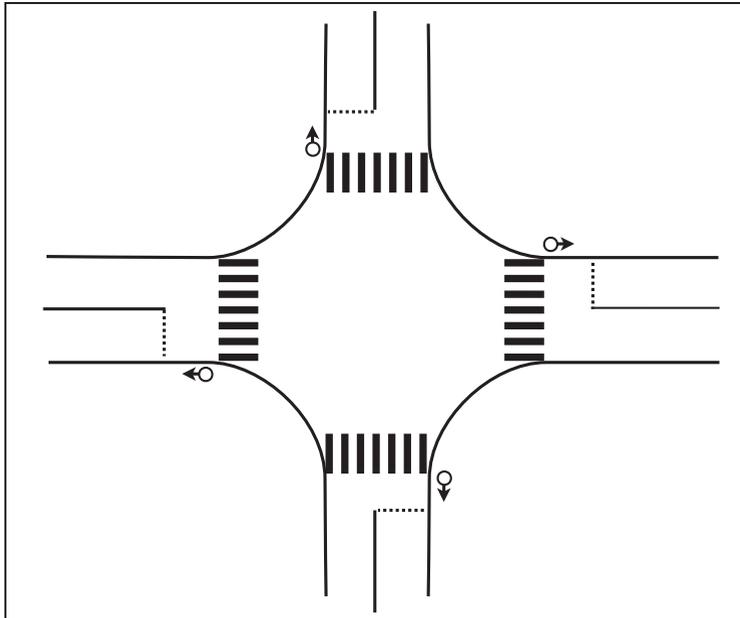


Fig. 35 : un carrefour à feux est ceinturé de passages pour piétons.

6.2 Avancer les trottoirs au niveau des traversées

Une autre exigence concerne les changements de niveau. Si les « bateaux » permettent aux personnes en fauteuil roulant d'accéder à la voirie, on s'orientera plutôt sur des solutions du type « avancées de trottoirs », partout où un stationnement longitudinal est implanté :

- elles empêchent le stationnement illicite sur les passages pour piétons ;
- elles diminuent la longueur des traversées pour les piétons ;
- elles offrent une meilleure visibilité des enfants ;
- elles permettent d'orthogonaliser les traversées pour piétons avec les mouvements tournants, ce qui facilite la visibilité des piétons qui traversent ;
- elles aident à récupérer le bombé de la chaussée et offrent un cheminement quasi-horizontal,
- il faut souvent neutraliser des places de stationnement en amont des passages piétons, ce qui va dans le sens de la démarche « Code de la rue ».

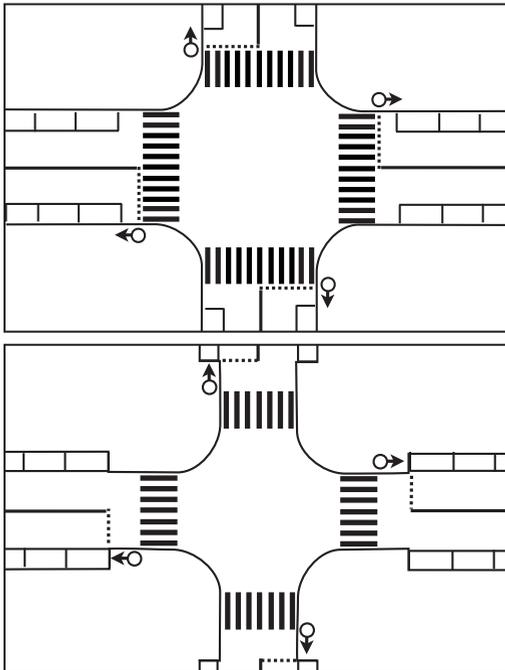


Fig. 36 : exemple d'élargissement des trottoirs.

6.3 Reculer légèrement les passages pour piétons

Les traversées piétonnes seront, autant que faire se peut, placées dans le prolongement des cheminements naturels des piétons.

Cependant il ne faut pas placer le passage pour piétons dans le virage, à l'angle des carrefours, car il est important qu'un véhicule qui tourne à droite ne gêne pas l'écoulement des tout-droit lorsqu'il s'arrête pour laisser passer les piétons. De plus, il faut garantir des angles de vision optimaux entre les piétons et les véhicules qui tournent. Ainsi, il faut reculer légèrement les passages pour piétons, comme l'illustre la figure suivante.

Dans le cas contraire, il peut être utile de mettre en place des dispositifs destinés à canaliser les flux piétons. Ces dispositifs sont franchissables pour éviter de bloquer des piétons sur la chaussée. Ils sont implantés en retrait de part et d'autre de la traversée.

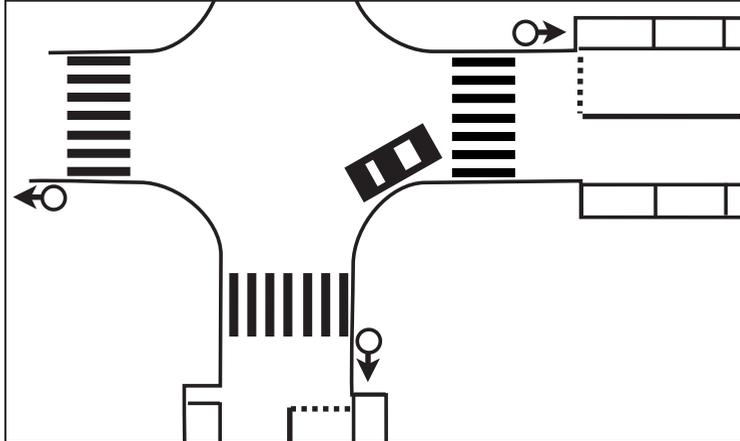


Fig. 37 : retrait du passage piéton.

6.4 Dimensionner confortablement les îlots-refuge

Lorsqu'une traversée piétonne excède 9 m sur une voie à double sens, il convient de se demander si l'implantation d'un îlot-refuge est possible, car il sécurise la traversée (un seul sens de circulation à franchir à la fois) et réduit considérablement le rouge de dégagement. À partir de 12 m de largeur de chaussée, l'îlot-refuge est la règle pour assurer le franchissement des personnes à mobilité réduite.

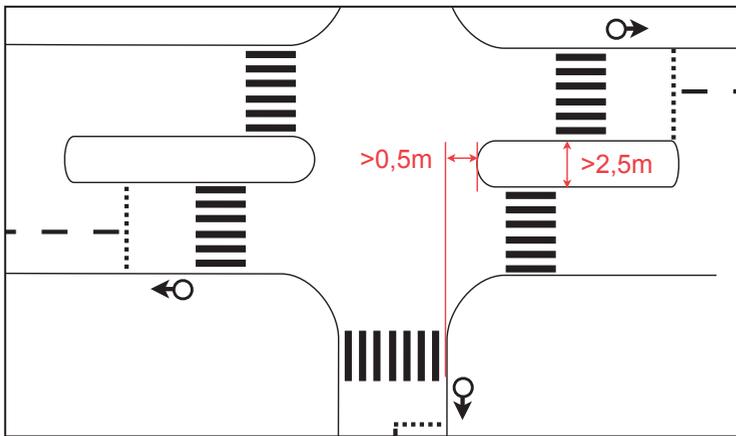


Fig. 38 : dimensionnement d'un îlot-refuge.

Si une traversée piétonne s'effectue en deux phases dissociées, on s'assurera que le refuge est d'une surface suffisante pour contenir le nombre de piétons amenés à y être en attente, en particulier si la traversée est fréquentée par des piétons en groupe (cheminement de classes d'élèves, arrêts de bus fortement fréquentés, abords d'une station ou gare). On retiendra la valeur de 1,5 piétons par m^2 pour calculer la surface nécessaire. Attention, la surface occupée au sol par un piéton est très variable : $0,21 m^2$ s'il ne porte rien, $0,56 m^2$ avec deux valises et $2 m^2$ avec une poussette pour enfant. On modulera en fonction du contexte.

6.5 Largeur des passages pour piétons

La largeur minimale d'un passage pour piétons est de 2,5 m. Elle est portée de 4 à 6 mètres dans les traverses de petites agglomérations. Les cheminements piétons, la taille des trottoirs, le volume des piétons peuvent nécessiter des largeurs plus importantes, notamment au-delà de 1 500 piétons par heure.

6.6 Largeur des trottoirs

Au-delà du minimum réglementaire permettant de satisfaire les exigences d'accessibilité, la largeur doit permettre à deux personnes chargées de paquets, de deux voitures d'enfants, ou deux personnes handicapées de se croiser dans des conditions normales de circulation, sans devoir s'arrêter et se placer de profil. L'observation montre qu'une largeur de 2 mètres est nécessaire. La présence de la signalisation, de mâts d'éclairage public, d'horodateurs, porte cette largeur souhaitable à 2,5 mètres.

La largeur du trottoir conditionne le trafic piétons admissible. Il existe des méthodes pour calculer le trafic piétons en fonction de la largeur du trottoir et vice versa. Les exposer dépasse largement le cadre de cet ouvrage. On retiendra que pour un motif « achats », le débit est de 1 500 piétons/h/m et pour un motif « domicile/travail », ce débit peut être doublé. À largeur égale, le nombre de personnes transportées par la marche est 2 à 4 fois celui en véhicule motorisé.

6.7 Piétons et mouvements tournants

Lorsqu'un flux de tourne-à-droite dépasse les 500 véhicules par heure, il est difficile de faire traverser en même temps les piétons sur la voie sécante. On sépare alors le mouvement de tourne-à-droite du mouvement tout-droit par un îlot de taille suffisante pour permettre le stockage des piétons. La traversée des piétons se fait alors en deux temps, mais les piétons ne sont en conflit avec aucun véhicule. L'îlot, de forme bien souvent triangulaire, ne facilite toutefois pas le cheminement des personnes aveugles et malvoyantes.

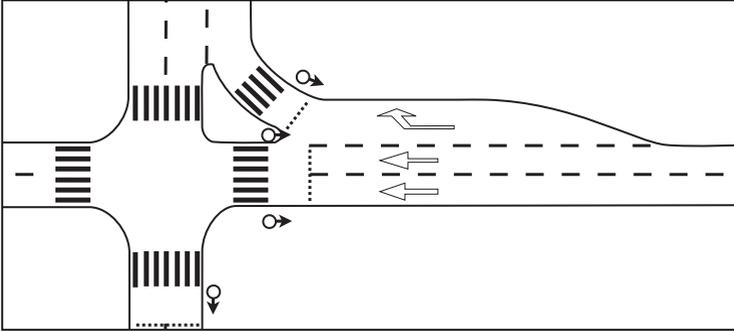


Fig. 39 : séparation des piétons et des tourne-à-droite.

7 Prise en compte des VTC

Pour bénéficier de voiries spacieuses, les véhicules de transport en commun (VTC) de surface empruntent des axes dont les principaux carrefours sont gérés par des feux. En l'absence de dispositions adaptées, ces feux affectent la progression des véhicules de transports en commun.

La prise en compte des véhicules de transport en commun (VTC) dans le fonctionnement des carrefours à feux est aujourd'hui couramment utilisée pour accroître la vitesse commerciale et la régularité des lignes de bus ou tramways. Elle est généralement mise en œuvre grâce à la fois à une redistribution de l'espace de la voirie, et aux possibilités d'action sur le fonctionnement de la signalisation lumineuse.

Pour faciliter la circulation des véhicules de transport en commun, l'aménagement géométrique du carrefour peut consister en un site réservé qui se poursuit le cas échéant sur la suite de l'itinéraire, ou plus simplement en un couloir d'approche. S'il existe un système de détection du véhicule de transport en commun à l'approche du carrefour pour agir sur le fonctionnement de la signalisation lumineuse, celui-ci est directement lié à l'organisation des voies du carrefour. Il ne suffit pas d'autoriser le franchissement du carrefour par le véhicule de transport en commun, il faut avant tout permettre à celui-ci d'y parvenir dans de bonnes conditions.

En l'absence de régulation spécifique, le temps moyen que met un VTC pour franchir un carrefour à feux est fonction du carré de la durée du rouge.

Le fonctionnement à deux phases est celui qui garantit la plus petite durée de rouge. Afin de pouvoir maintenir un fonctionnement à deux phases, on évitera la séparation temporelle des modes dans les carrefours à feux. Les carrefours à trois phases et plus offrent moins de souplesse sur la variation des durées de vert et de rouge que les carrefours à deux phases, variation nécessaire à la priorité dynamique aux VTC. Ils sont en outre moins lisibles pour les piétons et une grande attention doit être accordée au traitement des cheminements piétons.

7.1 La voie réservée

La voie réservée est matérialisée par un simple marquage au sol ou une bordure franchissable. Son utilisation se justifie sur les carrefours qui supportent un trafic VTC important ou en cas de difficultés d'approche, ou volonté politique. Il convient de commencer l'aménagement en amont des remontées de queue de la circulation générale. Les VTC peuvent ainsi aborder le carrefour sans être gênés par les véhicules en attente.

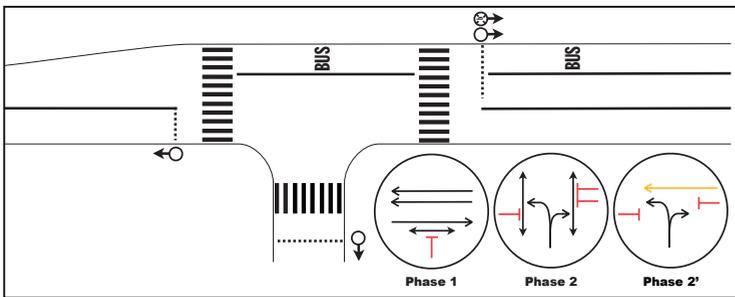


Fig. 40 : Cet exemple d'aménagement de voie réservée, que l'on pourrait appeler tremplin pour bus, permet, dans les secteurs saturés, de placer les VTC en tête de pelotons de véhicules et de diminuer l'impact des carrefours saturés. Le VTC bénéficie d'une phase d'anticipation mettant au jaune clignotant un signal d'anticipation modal bus.

Le recours à ce type d'aménagement ne doit cependant pas être systématique et doit faire l'objet d'une attention particulière, notamment :

- sur les carrefours non saturés et en l'absence de priorité dynamique, l'insertion d'une telle voie restreint l'espace dédié à la circulation générale et oblige parfois à utiliser des cycles de fonctionnement plus longs et source de temps d'attente supplémentaires ;
- à proximité des espaces marchands, le stationnement des véhicules de livraisons perturbe la circulation sur la voie réservée ;
- lorsque les mouvements de TAD sont importants, les véhicules se trouvent en conflit avec les VTC qui viennent à leur droite. Au-delà de 500 uvp/h en TAD, des aménagements spécifiques sont nécessaires. Il peut s'agir de l'insertion d'une phase spéciale permettant de séparer les mouvements ou de l'interruption de la voie aux abords du carrefour comme le prévoit l'instruction interministérielle sur la signalisation routière, Livre I, 7^e partie.

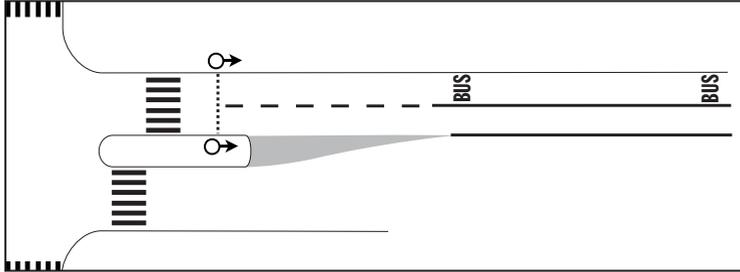


Fig. 41 : Exemple d'interruption d'une voie réservée avant un carrefour pour diminuer les risques de conflits avec les tourne-à-droite. Cette configuration pénalise néanmoins les VTC.

7.2 Le site propre ou couloir réservé

Contrairement à l'aménagement précédent, la chaussée réservée à la circulation des VTC est séparée physiquement de celle empruntée par la circulation générale. Le franchissement des intersections est le plus souvent géré par une phase spéciale (sauf si les mouvements VTC sont compatibles avec des courants de la circulation générale), déclenchée par une action dynamique de priorité.

7.3 Phase compatible VTC

Dans de nombreux cas, la circulation des VTC est compatible avec un ou plusieurs mouvements de la circulation générale, on peut alors admettre ces derniers en même temps que les VTC. Cette simplification du carrefour permet dans la plupart des cas de maintenir un fonctionnement global à deux phases, plus lisible par les piétons et qui facilite grandement la mise en œuvre de la priorité dynamique aux VTC.

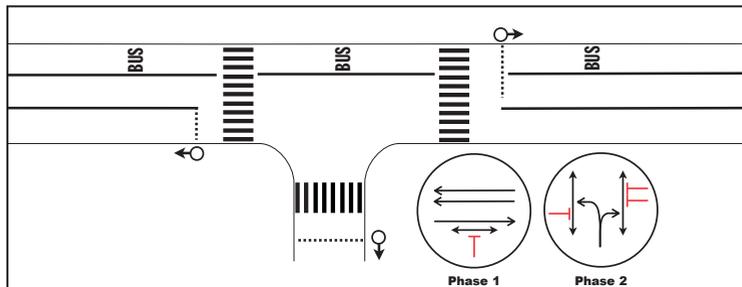


Fig. 42 : le bus peut circuler en même temps que les véhicules de la voie principale. La phase 1 est donc compatible avec les VTC.

7.4 La phase spéciale

Lorsque la circulation des VTC est incompatible avec tous les autres courants de circulation, une phase spéciale VTC est utilisée dans le cycle des feux.

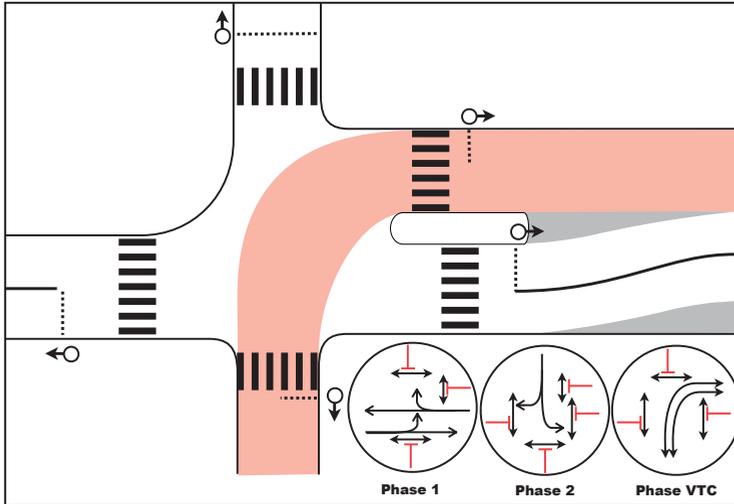


Fig. 43 : Exemple de carrefour où la circulation des VTC (empruntant un couloir réservé bi-directionnel) est gérée par une phase spéciale.

Cette phase spéciale n'est délivrée que sur demande. Afin de garantir une crédibilité auprès des autres usagers, elle doit être délivrée au moment précis de l'arrivée du VTC. Dès que le VTC a dégagé la zone de conflits, elle doit se fermer. Il est vivement recommandé que la circulation générale soit gérée en deux phases, afin de ne pas alourdir le fonctionnement, et pour faciliter la lisibilité de l'intersection par les piétons et les cyclistes. Le fonctionnement à deux phases offre une plus grande souplesse que le fonctionnement à trois phases pour l'insertion d'une phase spéciale. Les règles de conception énoncées dans cet ouvrage s'appliquent à ce genre d'aménagement, y compris aux sites tramways.

Une vigilance particulière doit être portée aux piétons aux abords des stations sur les sites propres axiaux. Lorsque le VTC arrive à l'arrêt, les mouvements directs de véhicules doivent être au rouge et les passages piétons qui traversent les voies longeant la station doivent être au vert, pour éviter aux piétons de manquer leur bus ou leur tramway.

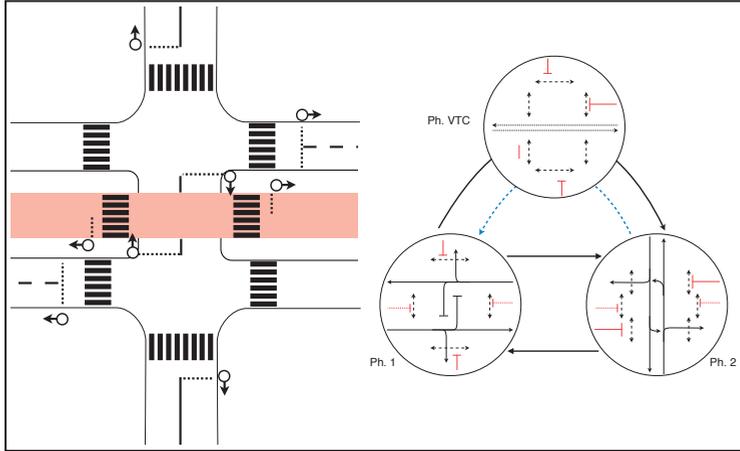


Fig. 44 : la circulation générale est gérée en deux phases dans ce carrefour avec site propre.

Réserve de capacité d'un carrefour à feux avec phase spéciale :

On estimera le nombre moyen de phases spéciales délivrées à l'heure de référence et la durée moyenne d'une phase spéciale. Le produit de ces deux valeurs donne T_{ps} , temps, exprimé en secondes, consacré à la phase spéciale sur une heure. On considère alors que le carrefour cycle à son cycle nominal Cy en dehors de la durée T_{ps} . Q_t s'exprime alors comme suit.

$$Q_t = q_s \times (Cy - T_n) / Cy \times (3600 - T_{ps}) / 3600$$

On calcule la demande uniquement pour les phases de circulation générale, car il n'y a pas de problème de capacité pour les VTC sauf à avoir des pelotons de VTC.

7.5 Le positionnement des arrêts

Toutes les mesures qui facilitent l'accostage des VTC aux arrêts commerciaux et rationalisent les conditions de montée et de descente des clients réduisent le temps passé en station :

- les arrêts commerciaux doivent être aménagés dans l'alignement droit de la voie pour permettre l'accès direct des piétons du trottoir au plancher du VTC et réduire les temps de décélération et d'accélération ;

- l'aire d'attente doit être assez vaste et dégagée d'obstacles pour permettre le débattement des fauteuils roulants et des poussettes et faciliter le croisement des passagers montants et descendants ;
- les arrêts commerciaux doivent être placés de préférence en sortie des carrefours à feux, pour faciliter le redémarrage au plus vite en évitant les traversées de voyageurs devant le VTC et les demandes de réouverture de portes pendant l'attente au rouge.

8 Prise en compte des vélos

La sécurité des cyclistes passe par une bonne perception de ceux-ci dans le carrefour. Cette réalité doit guider le projeteur dans sa démarche d'aménagement. Les principes généraux d'aménagement des carrefours à feux, favorisant une meilleure lisibilité du fonctionnement et la sécurité des piétons, sont en général profitables aux cyclistes. Le fonctionnement à deux phases est le seul qui soit parfaitement compris des cyclistes.

8.1 Débouchés de pistes cyclables dans les carrefours à feux

Si la piste cyclable est bien perçue par les cyclistes eux-mêmes, elle les sépare de la circulation, et son débouché dans un carrefour sans aménagement particulier fait que les cyclistes sont vus par les automobilistes au dernier moment, lorsqu'ils abordent le carrefour. La solution consistant à séparer les cyclistes des autres usagers par des feux (phase spéciale vélos) est déconseillée, car elle est mal comprise des automobilistes et ce sont les cyclistes, usagers vulnérables, les premières victimes de ce mode de fonctionnement. Il est donc préférable de gérer les cyclistes en même temps que les courants d'usagers qui leur sont parallèles, en deux phases. Afin d'assurer une bonne visibilité des vélos par les véhicules, on rapprochera la piste et on la transformera en bande cyclable 20 mètres avant le carrefour à feux.

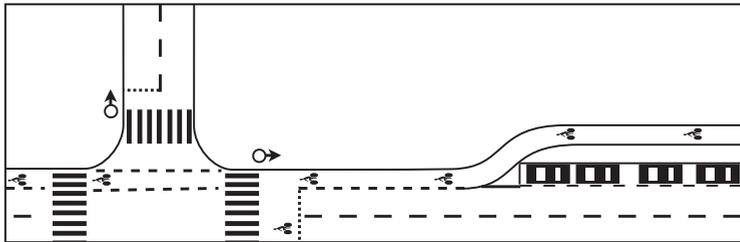


Fig. 45 : exemple de piste cyclable transformée en bande cyclable avant le carrefour à feux.

8.2 Vélos et véhicules en tourne-à-droite

Le conflit le plus souvent rencontré est celui des véhicules en TAD qui viennent couper la trajectoire des cyclistes effectuant un mouvement direct.

L'insertion d'une voie de tourne-à-droite affectée aux mouvements des véhicules motorisés peut améliorer la sécurité des cyclistes. Lorsqu'il existe une bande cyclable, celle-ci est, dans cette configuration de carrefour, insérée entre la voie de tourne-à-droite et les autres voies.

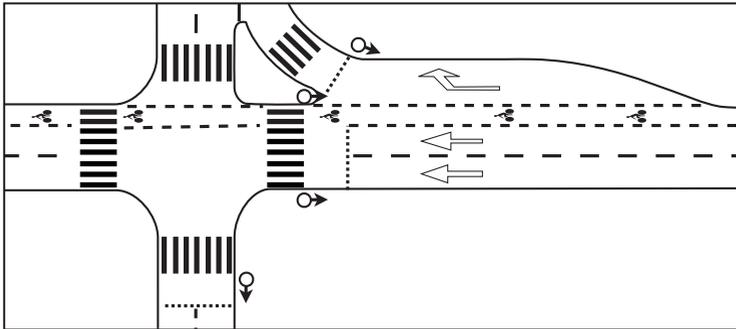


Fig. 46 : séparation des vélos et des tourne-à-droite.

8.3 Les vélos et les tourne-à-gauche

Concernant les mouvements de cyclistes en tourne-à-gauche, compte tenu des risques potentiels de conflit, ils peuvent être :

- directs, avec éventuellement un couloir de présélection. Le positionnement des cyclistes en milieu de chaussée est facilité mais demeure dangereux en cas de fort trafic automobile ;
- par sas. Dans ce cas, la ligne d'effet des feux des véhicules motorisés est placée en retrait de trois à cinq mètres par rapport à celle affectée aux cycles. Dans la mesure du possible, un refuge est aménagé sur le passage piéton contigu, séparant les deux sens de circulation. Les deux principaux défauts du sas résident dans le fait qu'il n'est utilisable que pendant la période de rouge et qu'il ne résout que partiellement les conflits avec le trafic adverse lorsque l'entrée adverse n'est pas équipée elle-même d'un sas ;

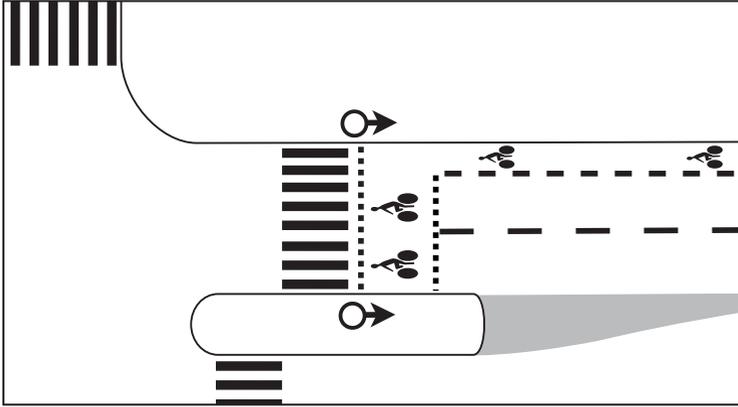


Fig. 47 : sas pour le tourne-à-gauche des vélos.

- indirects, le mouvement tournant est décomposé en deux temps. Le cycliste traverse tout d'abord le carrefour en serrant à droite, puis attend le vert sur la transversale pour traverser le carrefour. Ce mode de fonctionnement est le plus sécurisant en cas de forts trafics. Il sera d'autant mieux compris que le carrefour fonctionne en deux phases ;
- par sas et indirects. Le sas est utilisé pendant le rouge. Pendant le vert, les cyclistes utilisent la technique du tourne-à-gauche indirect.

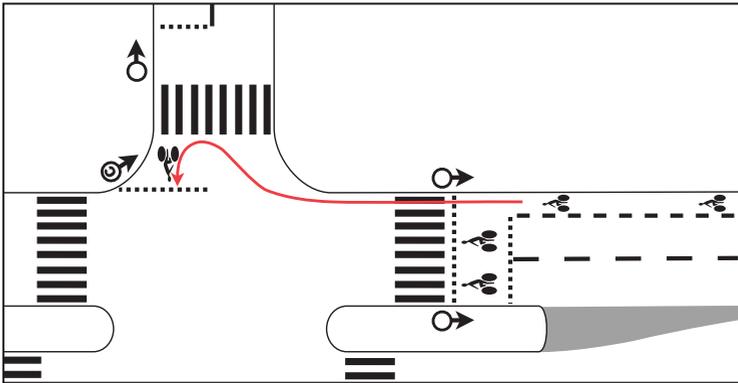


Fig. 48 : sas et tourne-à-gauche indirect pour les vélos.

Vérification au stade projet 9

Le but de cette partie n'est pas de dresser la liste des éléments composant un projet de carrefour à feux, mais de vérifier certains points de manière plus précise afin de s'assurer que la solution envisagée est parfaitement réalisable et que les indicateurs calculés au stade avant-projet sont valables.

9.1 Implantation de la signalisation

Au stade projet, il est nécessaire de mettre en place, sur un plan au 1/200^e, les éléments suivants :

- bordures de trottoirs, îlots ;
- positionnement de la signalisation verticale, horizontale ;
- arrêts de VTC ;
- stationnement ;
- mobilier urbain ;
- plantations.

Bon nombres d'éléments dimensionnels ont d'ores et déjà été présentés, nous n'y reviendrons pas. Nous compléterons seulement par les deux prescriptions suivantes, concernant le positionnement de la ligne d'effet des feux et l'implantation des signaux pour véhicules.

Les signaux blancs (barre horizontale, disque, barre verticale) et les signaux à pictogramme pour vélos font l'objet de prescriptions particulières. Pour de plus amples informations, nous renvoyons le lecteur à l'instruction interministérielle sur la signalisation routière.

Recul de la ligne d'effet des feux :

Afin d'améliorer la visibilité, un recul de la ligne d'effet des feux par rapport au passage piéton est conseillé : entre 3 et 5 mètres.

Implantation des signaux pour véhicules :

Ces signaux sont toujours positionnés avant le passage pour piétons. Un dégagement d'au moins 70 cm doit être prévu entre le bord extérieur d'un signal et le fil d'eau. Cette contrainte n'est pas toujours possible en ville. Toutefois, plus la distance est faible plus le risque d'un choc sur le signal est élevé.

Dans tout projet d'aménagement de carrefour à feux, l'usage de signaux autres que les signaux tricolores circulaires pleins (vert, jaune, rouge) pour les véhicules, signaux piétons et signaux spécifiques pour les VTC est suspect. Il traduit bien souvent un non-respect des règles de conception et une gestion des conflits inappropriée. C'est au stade de l'avant-projet qu'il faut remonter pour comprendre les raisons bien souvent non fondées d'un tel choix.

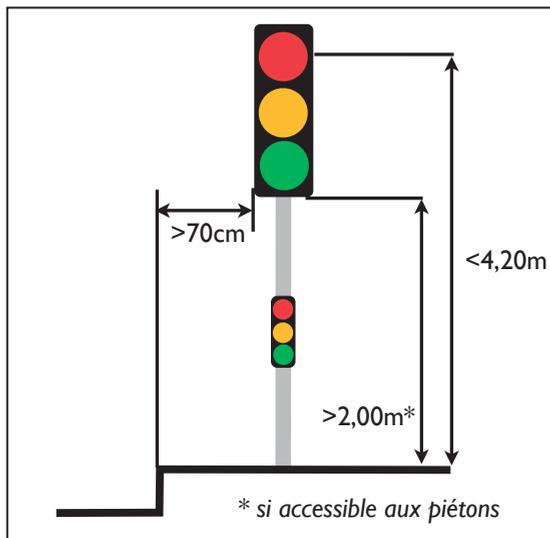


Fig. 49 : implantation des feux tricolores.

9.2 Élaborer la matrice des rouges de dégagement

Pour chaque phase, le choix de l'allumage du vert sur les différentes lignes de feux repose sur la définition des mouvements compatibles ou non. Afin de s'assurer que des mouvements incompatibles ne soient pas admis en même temps, on définit des durées qui séparent **la fermeture** d'une ligne de feux (son passage au rouge) et **l'ouverture** de la ligne de feux antagoniste (son passage au vert). Ces durées, que nous avons appelées rouge de dégagement dans la partie précédente, sont rassemblées dans la matrice de sécurité. Une attention toute particulière doit être apportée à celle dernière, car elle sera chargée dans le contrôleur afin que celui-ci puisse à tout instant vérifier que le déroulement des couleurs sur l'ensemble des lignes de feux respecte cette matrice. Elle est construite à partir des contraintes de sécurité et de fonctionnement définies dans la réglementation. Entre deux courants déclarés incompatibles au regard du phasage retenu, un rouge de dégagement est nécessaire. Il doit permettre à un piéton engagé à la dernière seconde de vert ou à un véhicule engagé à la dernière seconde de jaune fixe de dégager la zone de conflits avant l'arrivée du courant antagoniste suivant. Ces temps de dégagement sont généralement calculés sur la base d'une vitesse maximale de déplacement de 10 m/s pour les véhicules et de 1 m/s pour les piétons. Pour plus de précisions à ce sujet, nous renvoyons le lecteur à l'instruction interministérielle Livre I, 6^e partie, art. 110CS2. Des circonstances particulières peuvent conduire à retenir des vitesses plus faibles, nécessaires pour garantir la sécurité des usagers.

Il résulte de ce qui précède que la matrice de sécurité est une matrice carrée, mais en général non symétrique.

Exemple :

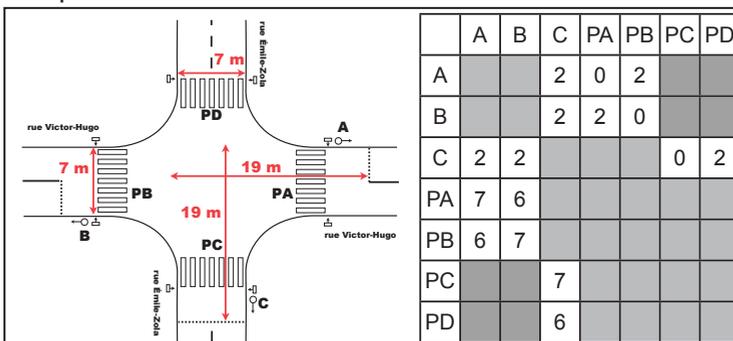


Fig. 50 : matrice des rouges de dégagement.

9.3 Élaborer le plan de feux de base ou minimal

On appelle plan de feux minimal, ou plan de feux de base, le plan de feux satisfaisant aux contraintes de sécurité et de fonctionnement rappelées ci-après :

- pour un signal tricolore, la durée de vert minimum réglementaire est égale à 6 secondes (temps d'engagement) ;
- la durée de jaune est de 3 secondes ou de 5 secondes en rase campagne et de 5 secondes pour les signaux avec un feu jaune clignotant sur le bas ;
- pour un signal piéton, la durée de vert minimum est de 6 secondes (temps de perception du signal) ;
- les durées de rouge de dégagement inscrites dans la matrice de sécurité sont des durées minimales en dessous desquelles il est interdit de descendre sans remettre en cause la sécurité du carrefour.

Il est préférable de retenir un minimum de vert de 10 s : l'expérience montre que le minimum réglementaire n'est pas suffisant pour être perçu, par les piétons notamment.

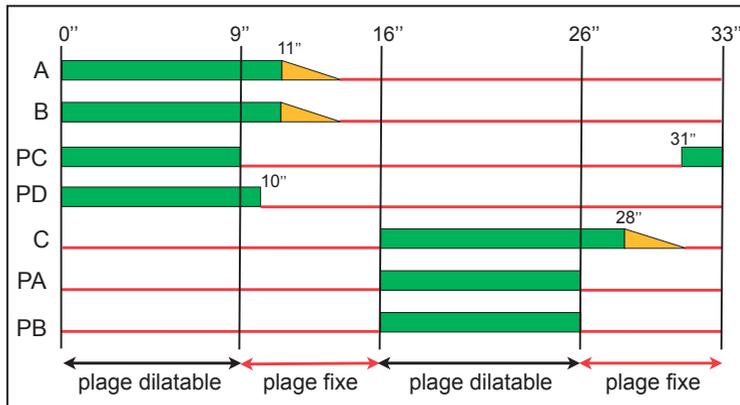


Fig. 51 : plan de feux de base.

Ce plan de feux de base définit un cycle incompressible comprenant des plages que l'on peut dilater et d'autres qui sont fixes, sans possibilité de variation, sous peine de remettre en cause les conditions de sécurité (notées à l'aide d'une flèche rouge).

Le plus souvent, le plan de feux de base ne peut être utilisé tel quel. En effet sa durée de cycle est très faible (inférieure à 25 s) dans le cas de carrefours simples. Dans le cas général, on considère qu'une durée de cycle ne doit pas être inférieure à 40 secondes pour satisfaire aux exigences de sécurité.

9.4 Élaborer des plans de feux de fonctionnement

Le plan de feux de base étant établi, il convient de le dilater pour obtenir un plan de feux de fonctionnement doté d'une durée de cycle qui reste à définir. Cette durée de cycle peut être imposée si le carrefour fait partie d'un axe coordonné. Dans ce cas, c'est le carrefour le plus chargé de l'axe à coordonner qui dicte la durée de cycle de fonctionnement.

Lorsque la durée de cycle est libre, on l'adapte aux conditions de circulation pour une période de fonctionnement donnée. On choisit comme durée de cycle celle qui fournit la capacité théorique immédiatement supérieure à la demande du carrefour ou majorée de 10% maximum.

Les conditions de circulation étant variables, plusieurs plans de feux de fonctionnement sont nécessaires pour répondre aux exigences d'exploitation.

Il peut exister par exemple un plan de feux pour :

- l'heure de pointe du matin ;
- l'heure de pointe du soir ;
- les heures creuses ;
- les périodes nocturnes.

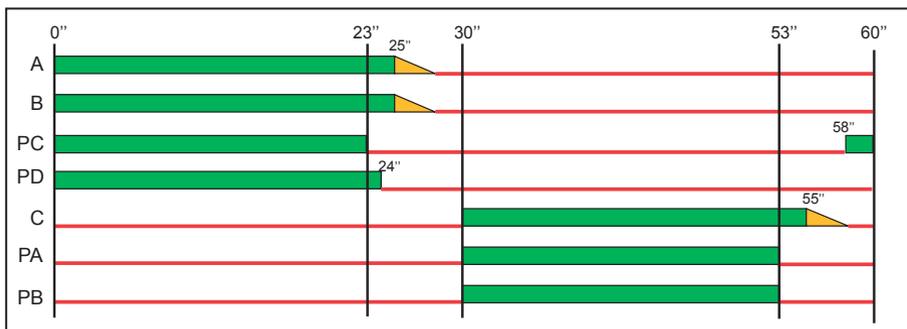


Fig. 52 : plan de feux de fonctionnement.

La répartition des temps de vert

Le cycle de fonctionnement étant déterminé, les durées de vert de chaque phase sont définies suivant la stratégie de régulation choisie.

Cette stratégie se concrétise par le choix du temps de vert de chaque phase dans le(s) plan(s) de feux de fonctionnement. Il peut être différent selon les situations de trafic ou selon les périodes.

On a le choix entre plusieurs types de solutions :

- répartir les temps de vert équitablement sur les différentes phases (calcul des temps de vert proportionnellement à la demande de trafic) ;
- donner un temps de vert limité au strict nécessaire de chaque phase. Dans ce cas, seuls les carrefours coordonnés sont susceptibles de présenter des temps de vert superflus, la durée du cycle étant imposée par le carrefour critique de l'axe coordonné. Dans ce cas là, cette durée de vert peut être reportée intégralement sur la voie principale coordonnée pour maximiser la bande passante, ou librement répartie en fonction du trafic ou de critères de sécurité ;
- accorder la quasi-totalité de la réserve de vert à certains usagers que l'on veut privilégier (piétons, deux-roues, bus...).

9.5 Évaluer un plan de feu de fonctionnement

Le fonctionnement d'un carrefour à feux génère des temps d'attente, source de retard pour l'usager. Il est souvent utile, pour qualifier le fonctionnement d'une ligne de feux, de calculer, a priori, pour chaque entrée, en fonction du trafic estimé et des capacités débitrices de l'aménagement :

- les remontées de files ;
- le retard total, c'est à dire le temps neutralisé par l'ensemble des usagers d'une entrée ;
- le retard par véhicule imposé aux usagers.

Il faut bien garder à l'esprit que cette approche suppose la non-saturation du carrefour et un carrefour isolé. Ces méthodes sont cependant suffisantes pour évaluer l'adéquation d'un plan de feux à une situation de trafic donnée.

Demande d'une ligne de feux (d)

La demande d'une ligne de feux est égale au trafic de la file la plus chargée gérée par la ligne de feux. d est exprimé en véh/s

Capacité d'une ligne de feux (Ca)

On a vu précédemment que la capacité d'une voie en écoulement libre (sans gêne et sans feux) est voisine de 1800 uvpd/h. Lorsque l'écoulement est interrompu par le passage au rouge d'une ligne de feux, la capacité chute. Elle est alors proportionnelle au rapport du temps de vert sur le temps total. Si l'alternance vert rouge est telle que le feu se trouve au vert pendant 30 s puis au rouge pendant 30 s, puis à nouveau au vert pendant 30 s, etc., la capacité est alors réduite de moitié.

La capacité d'une ligne de feux s'exprime de la manière suivante :

$Ca = qs \times V / Cy$, avec qs le débit de saturation de la voie, V la durée du vert de la ligne de feux.

Réserve de capacité d'une ligne de feux (Rc)

Il s'agit de la différence entre la demande d'une ligne de feux et sa capacité.

$$Rc = Ca - d$$

Longueurs des files d'attentes (Lmax)

Nombre maximum de véhicules dans une file d'attente :

$$N_{max} = d \times (Cy - V)$$

N_{max} est un nombre moyen, des variations d'un cycle à l'autre étant tout à fait normales. On rappelle que ce calcul n'est valide qu'en régime fluide et avec une arrivée aléatoire de véhicules.

Chaque uv occupant environ 5 m dans la file d'attente, la longueur maximale moyenne de file d'attente en mètres L_{max} s'exprime alors : $L_{max} = 5 \times N_{max}$.

Retard (r)

Le retard, ou temps de traversée d'une ligne de feux, est le temps moyen d'attente aux feux, pour l'ensemble des véhicules qui s'y présentent, quel que soit l'instant, vert ou rouge, où ils se présentent.

$$r = \frac{(Cy - V)^2}{2Cy(1 - d/Os)}$$

Le retard est significatif de la gêne qu'apporte la présence d'un carrefour à feux dans l'écoulement de la circulation (ce qui explique l'expression grand public « feu rouge » et jamais « feu vert » pour désigner les signaux tricolores). Mais il est aussi significatif des atteintes à l'environnement que produisent les véhicules à l'arrêt : émission de polluants, bruit, pollution visuelle, etc.

Retard moyen pour un piéton (r)

Sauf affluence très forte, il se forme rarement des files d'attente de piétons au niveau des traversées pour piétons : ceux-ci attendent en général les uns à côté des autres. On peut donc considérer que le temps d'attente d'un piéton est indépendant de la demande en piétons. Il suffit de rendre égale à 0 la valeur de d dans la formule du paragraphe précédent et on obtient :

$$r = \frac{(C_y - V)^2}{2C_y}$$

On considère usuellement qu'au-delà de 20 s, le retard est anormalement long.

Retard pour un VTC

Pour les carrefours ne bénéficiant pas de la priorité dynamique aux VTC, et en-dehors des zones fortement chargées en véhicules de transport en commun, on peut, comme pour les piétons, rendre égale à 0 la demande d de la formule générale. Le retard, pour un VTC, se formule alors de manière identique à celui du piéton :

$$r = \frac{(C_y - V)^2}{2C_y}$$

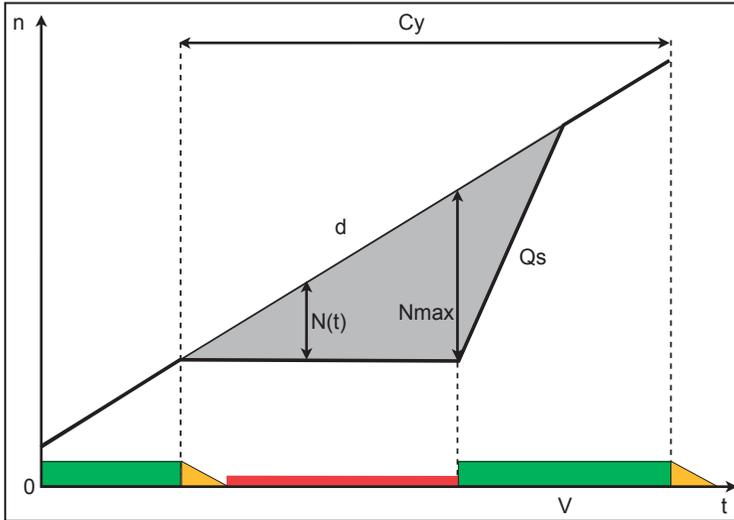


Fig. 53 : modélisation d'une ligne de feu : la droite oblique représente le nombre de véhicules qui se présentent au niveau de la ligne de feu en fonction du temps. La ligne brisée, en gras, représente le nombre de véhicules qui ont franchi la ligne de feu en fonction du temps. L'écart entre ces deux courbes représente le nombre de véhicules en attente au niveau de la ligne de feu, à l'instant t . Le nombre maximum de véhicules en attente est atteint en fin de rouge (N_{max}). L'aire de la surface grisée représente le temps total perdu par les véhicules à chaque cycle. En divisant cette aire par $d \times C_y$ (nombre de véhicules franchissant la ligne de feu par cycle), on obtient la formule du retard individuel donnée précédemment.

Le tableau suivant montre que la durée du cycle a un impact non négligeable sur les longueurs de file d'attente et le retard. Le choix d'un cycle court est toujours préférable.

Carrefour à 2 phases ($d = 630$ uvpd/h/voie) avec $T_n = 10$ s				
Cycle	45	60	70	90
Vert	17,5	25	30	40
Ca	700	750	771	800
Retard/Veh	12,9	15,7	17,6	21,4
Lmax	24	31	35	44

Tab. 6 : impact du cycle sur le retard et les files d'attente.

9.6 Évaluer le stockage des TAG

La géométrie étant parfaitement calée, il est prudent de procéder à une dernière vérification sur les tourne-à-gauche. Cette analyse permet également d'estimer les marges de manœuvres disponibles en cas d'incertitude sur les volumes de trafic ou d'un carrefour amené à jouer un rôle particulier en matière de gestion des trafics.

On effectue la démarche inverse de celle de l'avant-projet, en calculant le volume de trafic admissible pour chaque tourne-à-gauche, en fonction de la durée du cycle et du nombre de véhicules en tourne-à-gauche stockable sans gêne.

TAG stockables sans gêne	Durée de cycle				
	50	60	70	80	90
1	72	60	51	45	40
2	144	120	103	90	80
3	216	180	154	135	120
4	288	240	206	180	160
5	360	300	257	225	200
6	432	360	309	270	240
7	504	420	360	315	280
8	576	480	411	360	320

Tab. 7. Trafic en uvpd/h pouvant s'écouler en tourne-à-gauche en fonction du nombre de véhicules en tourne-à-gauche se stockant sans gêne et de la durée du cycle.

Bibliographie

Règlements :

Code de la route

Arrêtés des 26 juillet 1974, 7 juin 1977, 21 juin 1991 et 6 novembre 1992 modifiés, relatifs à l'approbation de l'instruction interministérielle sur la signalisation routière.

www.securite-routiere.equipement.gouv.fr

Ouvrages :

- *Carrefours à feux*, Certu, mars 1988
- *Mise en conformité des carrefours à feux*, Certu, mai 1999
- *La signalisation des aménagements et des itinéraires cyclables*, Certu, mai 2004
- *Guide sur le marquage de la chaussée en agglomération*, Certu, juillet 2003
- *La priorité aux feux pour les véhicules de transports en commun*, Certu, août 2001
- *La simulation dynamique du trafic routier*, Certu, décembre 2000
- *Recommandations pour les aménagements cyclables*, Certu, 2000
- *Guide d'aménagement de voirie pour les transports collectifs*, Certu, janvier 2000
- *Guide Carrefours urbains*, Certu, juin 2010
- *Fiches Carrefours à feux*, Certu, mai 1999
- *Guide Carrefours à feux avec îlot central*, Certu, septembre 2008
- *Le profil en travers, outil du partage des voiries urbaines*, Certu, 2009

Logiciels :

- *DiagFeux*, version 1.0, mai 2009, Certu : conception et calcul de diagrammes de plan de feux
- *Giration*, version 3.3, juillet 2007, Certu : définition, calcul, dessins d'épures de giration
- *MiTemps*, version 3.0, février 2003, Certu : mesures informatisées des temps de parcours.
- *OndeV*, version 1.0, Certu : calcul et dessin d'ondes vertes

Site web :

<http://www.lescarrefoursafeux.fr>

Table des matières

Introduction	5
1 Domaine d'emploi	6
1.1 Séparer dans le temps les principaux courants d'usagers en conflit dans un carrefour	6
1.2 Gérer un passage piéton en section courante	7
1.3 Gérer un alternat	7
1.4 Les feux sont des équipements essentiellement urbains	8
1.5 Feux et sécurité routière	9
2 Démarche d'étude	10
2.1 Observer	10
2.2 Compter tous les mouvements directionnels	10
2.3 Estimations prévisionnelles	11
2.4 Disposer d'un vrai plan	12
2.5 Recenser les besoins en stationnement, en livraisons et en taxis	12
2.6 Recenser les lignes régulières de transport en commun	13
2.7 Prendre en compte les besoins des piétons et les exigences d'accessibilité	13
2.8 Recenser les itinéraires cyclables	13
2.9 Recenser les activités et les projets futurs	13
3 Règles d'or de conception	14
3.1 Géométrie et phasage sont indissociables	14
3.2 Fonctionner à deux phases	15
3.3 Orthogonaliser les voies en conflits	16

3.4	Aligner les voies en phase	17
3.5	Réduire la taille de la zone de conflits	18
3.6	Limiter le nombre d'entrées	20
3.7	Ne pas surdimensionner les files pour véhicules motorisés	21
3.8	Prendre en compte la giration des véhicules	22
3.9	Rabattre rapidement les voies en sortie de carrefour	23
4	Évaluation sommaire au stade de l'avant-projet	24
4.1	Définir des trafics de référence	25
4.2	Transformer les comptages en uvp/h	26
4.3	Transformer les comptages en uvpd/h	27
4.4	Répartir les flux de trafic sur chaque file	30
4.5	Calculer la demande de trafic du carrefour	31
4.6	Estimer les temps neutralisés (Tn)	33
4.7	Choisir un cycle de référence	34
4.8	Calculer l'offre de capacité du carrefour (Qt)	34
4.9	Calculer la réserve de capacité du carrefour	35
5	Traitement des tourne-à-gauche	37
5.1	Stocker efficacement tourne-à-gauche	37
5.2	Cycler court	39
5.3	Proscrire les tourne-à-gauche à l'indonésienne à deux phases	40
5.4	Décomposer les carrefours pour les forts tourne-à-gauche	41
5.5	Prolongation de la fermeture	42
5.6	Éviter les phases spéciales de tourne-à-gauche	43
5.7	Éviter le fonctionnement accès par accès	44
5.8	Proscrire les tourne-à-gauche par la droite	45
5.9	Les demi-carrefours	46
5.10	Simplifier un carrefour à 4 phases	46

6	Prise en compte des piétons	50
6.1	Ceinturer le carrefour de passages pour piétons	50
6.2	Avancer les trottoirs au niveau des traversées	51
6.3	Reculer légèrement les passages pour piétons	52
6.4	Dimensionner confortablement les îlots-refuge	53
6.5	Largeur des passages pour piétons	54
6.6	Largeur des trottoirs	54
6.7	Piétons et mouvements tournants	54
7	Prise en compte des VTC	56
7.1	La voie réservée	57
7.2	Le site propre ou couloir réservé	58
7.3	Phase compatible VTC	58
7.4	La phase spéciale	59
7.5	Le positionnement des arrêts	60
8	Prise en compte des VTC	62
8.1	Débouchés de pistes cyclables dans les carrefours à feux	62
8.2	Vélos et véhicules en tourne-à-droite	63
8.3	Les vélos et les tourne-à-gauche	63
9	Vérification au stade projet	65
9.1	Implantation de la signalisation	65
9.2	Élaborer la matrice des rouges de dégagement	67
9.3	Élaborer le plan de feux de base minimal	68
9.4	Élaborer des plans de feux de fonctionnement	69
9.5	Évaluer un plan de feu de fonctionnement	70
9.6	Évaluer le stockage des TAG	74
	Bibliographie	75

Design guide for light-controlled road junctions

This guide has been written for all those involved in projects that include one or more light-controlled road junctions.

It lays down the general principles for designing light-controlled intersections, with the aim of reconciling geometry and practicality. It describes a procedure for designing light-controlled junctions at the pre-project stage, as well as essential tools for evaluating the chosen solution. Key dimensional criteria are also presented in this work.

Operating refinements are proposed for the project stage, as well as more specific indicators for the technical approval of a solution.

The methods selected are simple and require nothing more than basic calculations that can be done by hand.

Guía para el diseño de intersecciones con semáforos

Esta guía se dirige a personas implicadas en un proyecto de intersecciones con semáforos.

Proporciona los principios generales para el diseño intersecciones con semáforos, velando por la coherencia entre la geometría y la funcionalidad; presenta un enfoque que permite diseñar desde la fase de anteproyecto una intersección con semáforos así como las herramientas indispensables para evaluar la solución desarrollada; y presenta los principales criterios dimensionales.

También propone un análisis profundizado del funcionamiento durante el proyecto e indicadores más precisos para la validación técnica de una solución.

Los métodos recogidos son simples y sólo requieren cálculos elementales que se pueden hacer a mano.

© CERTU - 2010

Service technique placé sous l'autorité du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat, le centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques a pour mission de faire progresser les connaissances et les savoir-faire dans tous les domaines liés aux questions urbaines. Partenaire des collectivités locales et des professionnels publics et privés, il est le lieu de référence où se développent les professionnalismes au service de la cité.

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Certu est illicite (loi du 11 mars 1957). Cette reproduction par quelque procédé que se soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Coordination : Service Éditions (Patrick Marchand)

Mise en page: Adrien Gutierrez ☎ 04 72 77 64 29

Impression: Jouve ☎ 01 44 76 54 40

Achévé d'imprimer: novembre 2010

Dépôt légal: 4e trimestre 2010

ISBN: 978-2-11-098937-6

ISSN: 1263-3313

Cet ouvrage a été imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement (norme PEFC) et fabriqué proprement (norme ECF).

L'imprimerie Jouve est une installation classée pour la protection de l'environnement et respecte les directives européennes en vigueur relatives à l'utilisation d'encre végétales, le recyclage des rognures de papier, le traitement des déchets dangereux par des filières agréées et la réduction des émissions de COV.

Cet ouvrage est en vente au CERTU

Bureau de vente:

9, rue Juliette Récamier

69456 LYON cedex 06 - France

☎ 04 72 74 59 59

Internet: <http://www.certu.fr>

