

Ingénierie du trafic



S5. Régulation urbaine

Séance d'aujourd'hui

Cours Magistral et Applications

- Introduction, carrefour et conflits
- Définitions : cycle de feu, cycle, phase, temps perdu, commutation
- Détermination du phasage et de la durée de cycle
- Cycle optimal de Webster
- Prise en compte des piétons

Ingénierie du trafic I

Régulation urbaine

1. Introduction

Réseau routier urbain

Multitude d'usages

- Piétons, cyclistes, voitures particulières
- Transports publics
- Stationnement et livraisons
- Tourisme
- Transport de marchandises, déménagements, ...
- Chargement de véhicules électriques
- Manifestations et événements divers

Les carrefours : des points stratégiques

Constats

- Les villes sont construites autour des voies
- Le carrefour est le lieu de rencontre de plusieurs voies
- Des enjeux de sécurité, de circulation, de partage d'espace

Questions

1. Comment arbitrer entre les différentes usages ?
2. Comment réguler le trafic ?

Deux « familles » de solution

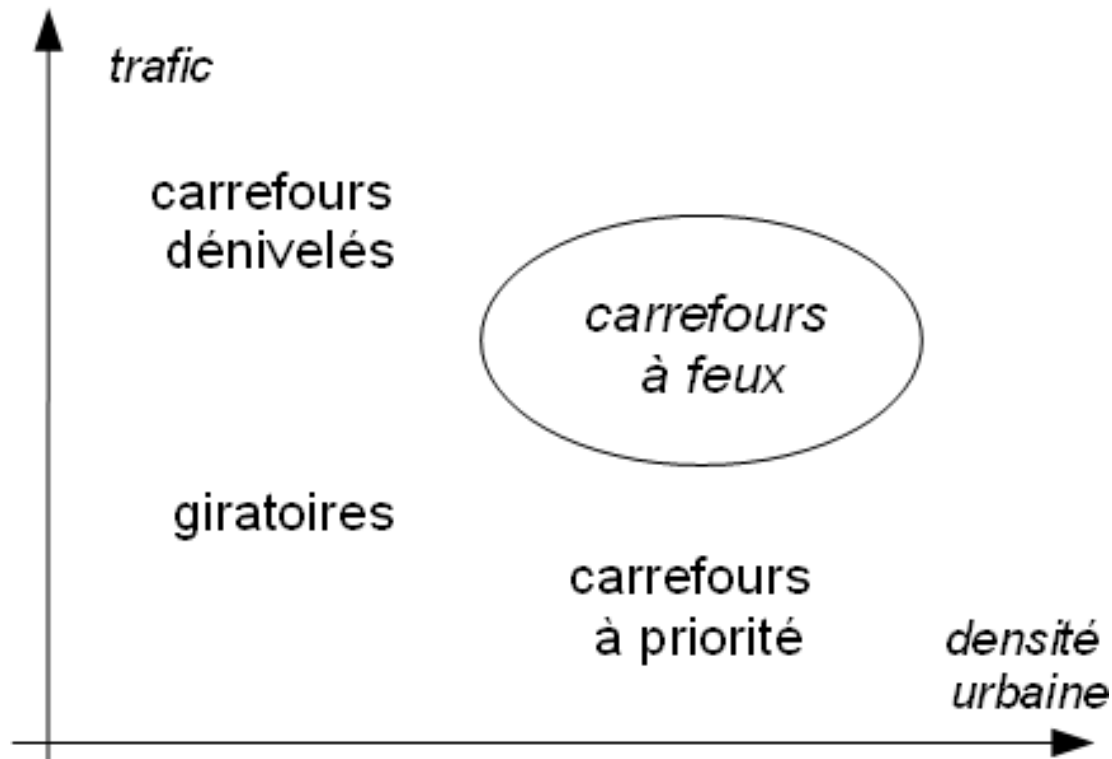
La séparation spatiale



La séparation temporelle



Critères de choix



CàF: plutôt urbain, volumes de trafic importants, vitesses pas trop élevées

Critères d'installation des feux

- Nb d'accidents élevé > 5 acc corporels/an
- Débits véh importants > 600 uvp/h axe prin.
(presque tt le temps) > 200 uvp/h axe sec.
- Attente importante sur axe secondaire
- Piétons nombreux > 250 piétons/h
- Aménagement complexe ou spécifique (école,...)
- Nécessité de régulation (axe coordonné, priorité aux TC, ...)

Carrefour et mouvements

Un carrefour est situé à la rencontre de rues déterminant des **couloirs d'entrée et de sortie**.

- Chaque couloir est caractérisé par sa largeur et le **nombre de voies**.

Mouvement directionnel : l'ensemble des usagers ayant même O et même D.

- **Un courant** regroupe les mouvements de même origine admis simultanément.

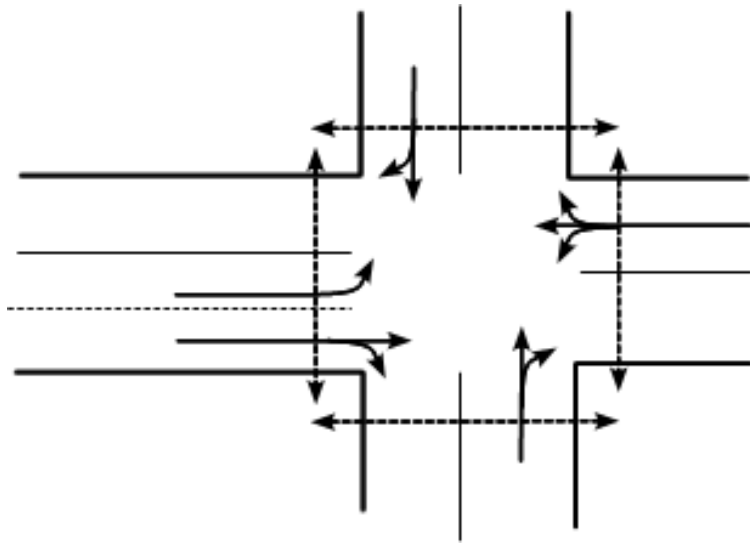
- **Entrée** : ensemble des voies supportant un courant.

- **Mouvement piéton** : bidirectionnel.

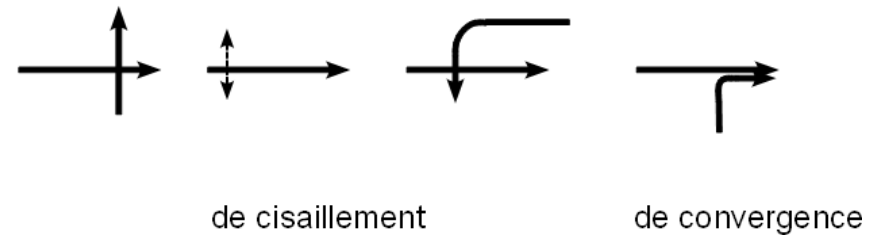
Exemple carrefour à 4 branches

Véhicules : 10 mvts, 4 ou 5 courants

Piétons : 4 mvts



Exemples de conflits



Ingénierie du trafic I

Régulation urbaine

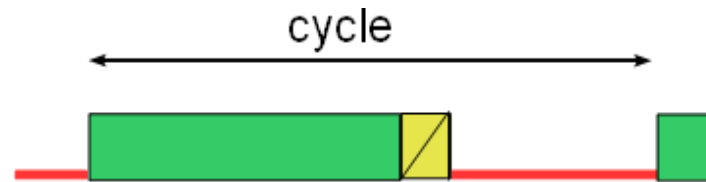
2. Définitions

Cycle

Les états des feux *vert, jaune, rouge* se succèdent de façon cyclique.



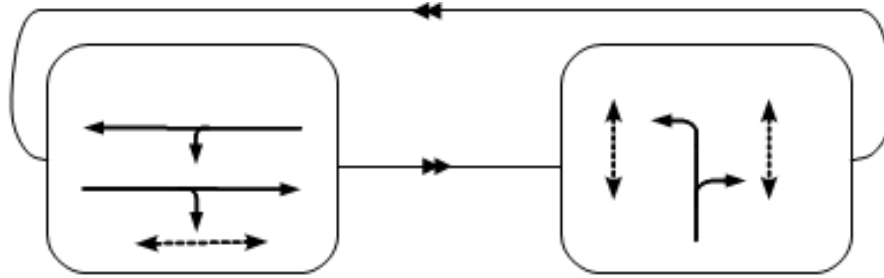
Le cycle est la durée séparant deux passages successifs d'un feu par le même état (cycle d'un feu, cycle d'un carrefour).



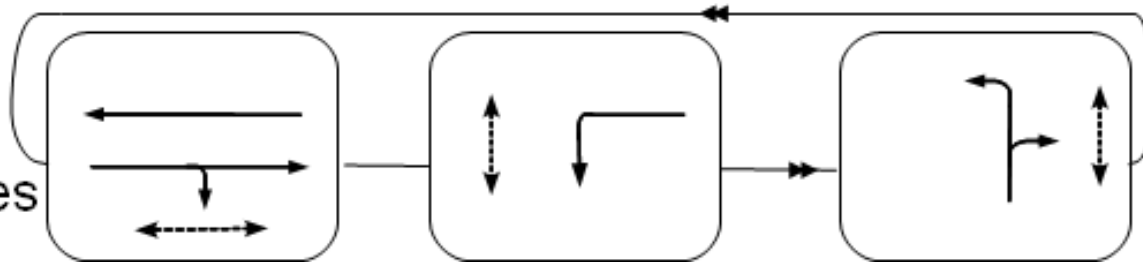
Le cycle est partagé en phases : temps pendant lesquels un ou plusieurs courants sont admis dans le carrefour.

Exemple carrefour à 3 branches

2 phases



3 phases



Saturation

Une phase est dite **saturée** lorsqu'un véhicule au moins de cette phase est contraint d'attendre plus d'un cycle pour franchir le carrefour.

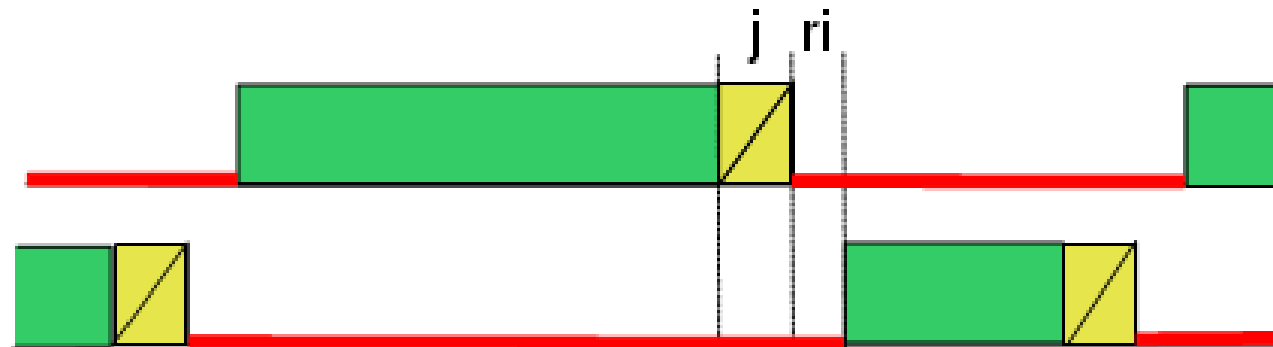
Le carrefour est saturé quand au moins une de ses phases est saturée.

Période de commutation

Commutation : période entre les verts de 2 phases successives

Comprend le **jaune** et le **rouge intégral**

- Le jaune dure 3 s en agglo, 5 s hors agglo
- Rouge intégral (rouge de dégagement) : période de sécurité où les feux des 2 phases successives sont au rouge ; souvent 2 s



Temps perdu

Vert effectif par phase= **vert** + **jaune**

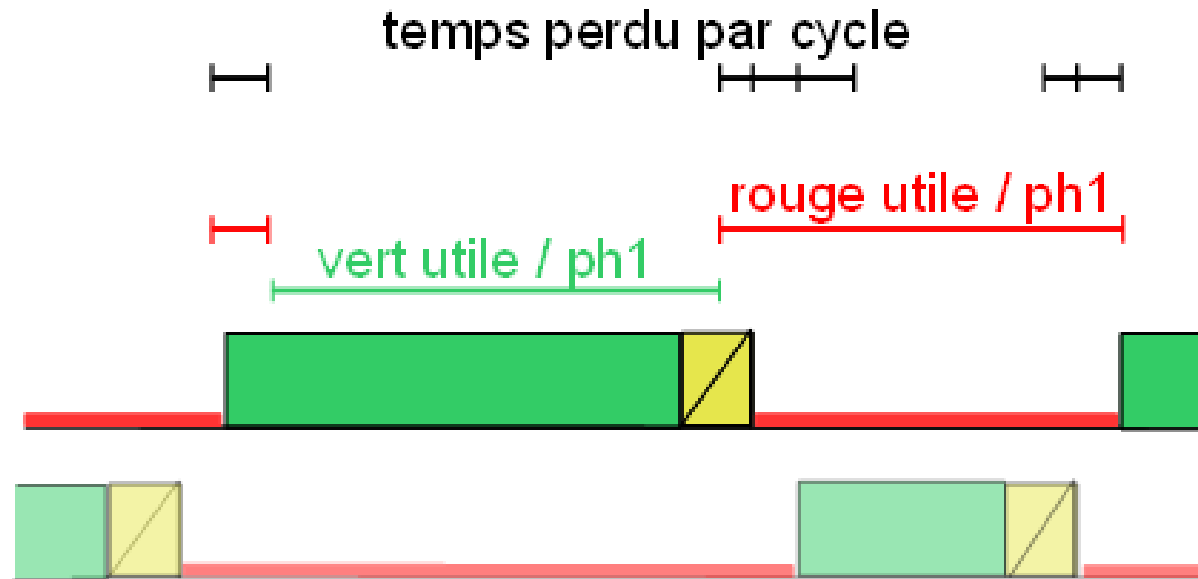
Temps perdu par phase

- Qq secondes au début de vert (démarrage)
 - Qq secondes en fin de jaune
- Au total entre 5 et 8 secondes

Temps perdu par cycle $T = \sum (tp/ph) + \sum (tri/ph)$

- Tp/ph = temps perdu par phase
- Tri/ph = temps de rouge intégral par phase

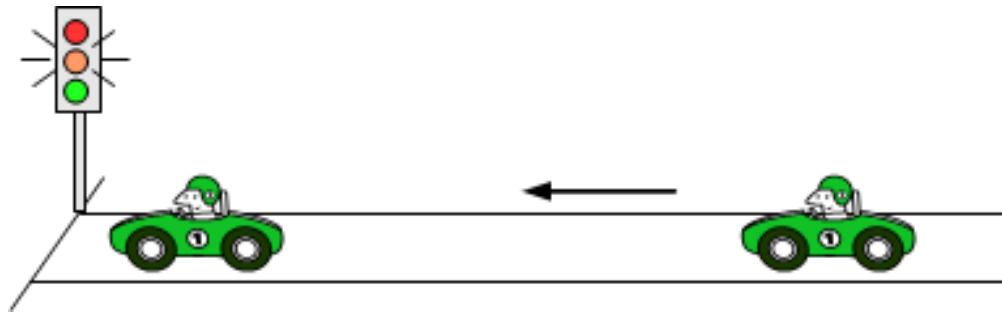
Vert utile, rouge utile



Vert utile par phase = vert effectif (/ph) – temps perdu (/ph)

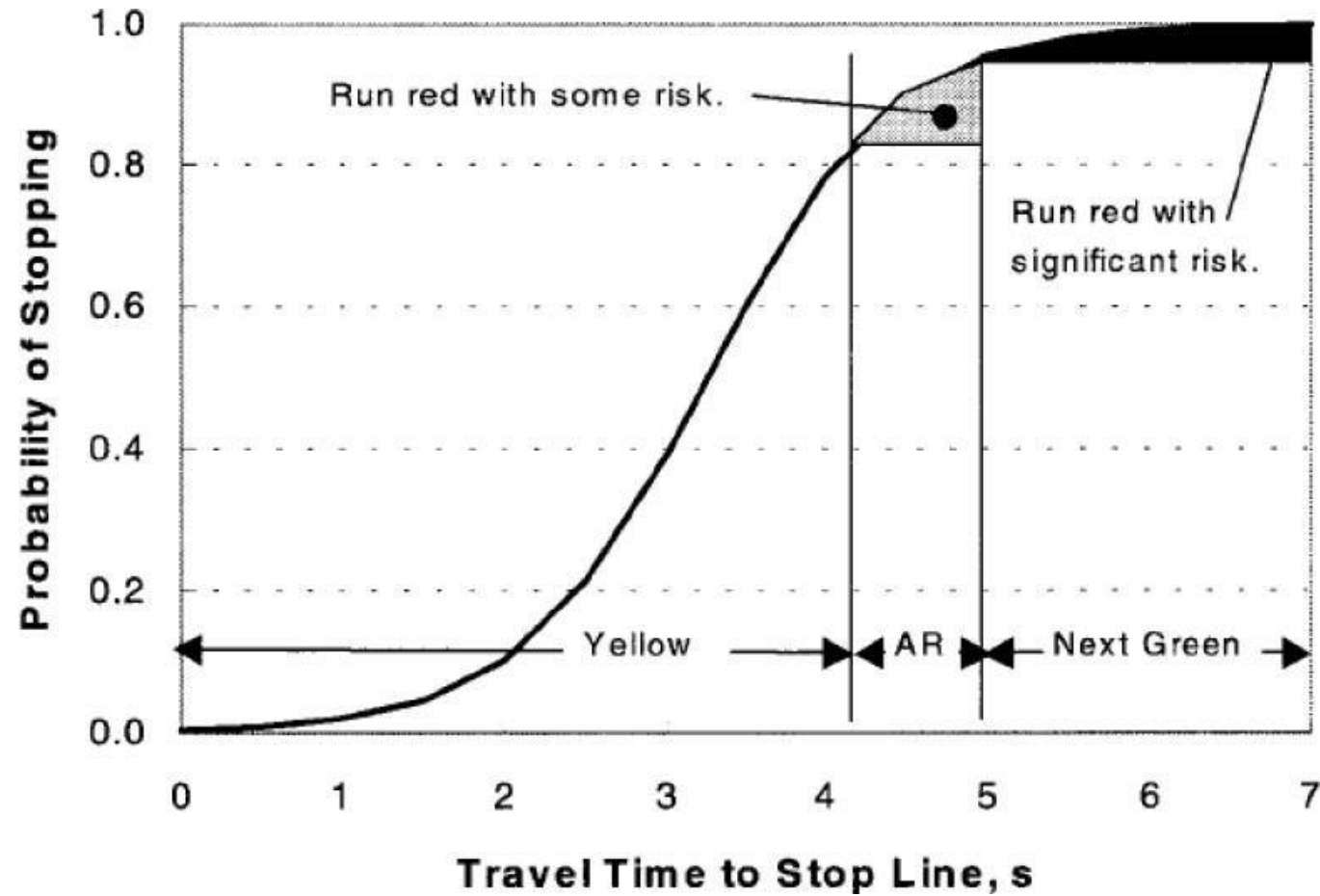
Rouge utile par phase = cycle – vert utile (/ph)

La commutation



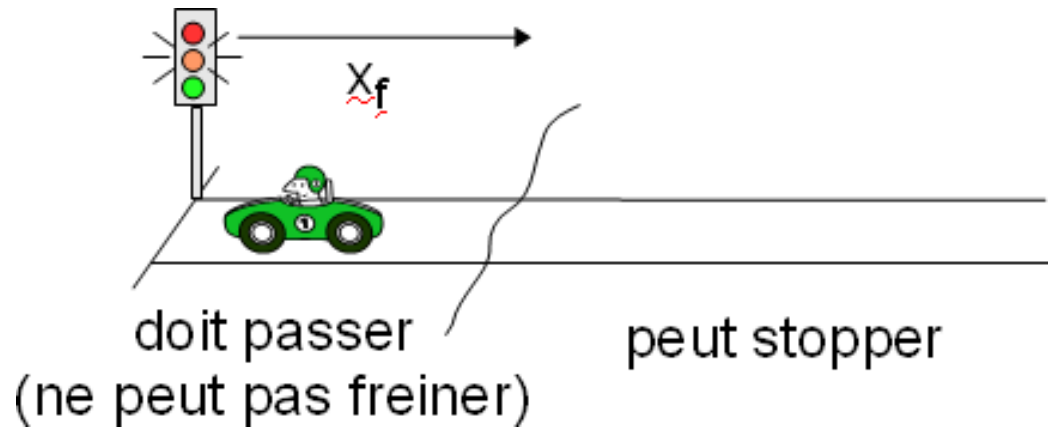
Probabilité de stopper

Source: Bonneson and Zimmerman (TRB, 2004)



Distance de freinage

$$x_f = t_{\text{reaction}} \cdot v_0 + v_0^2 / 2a$$



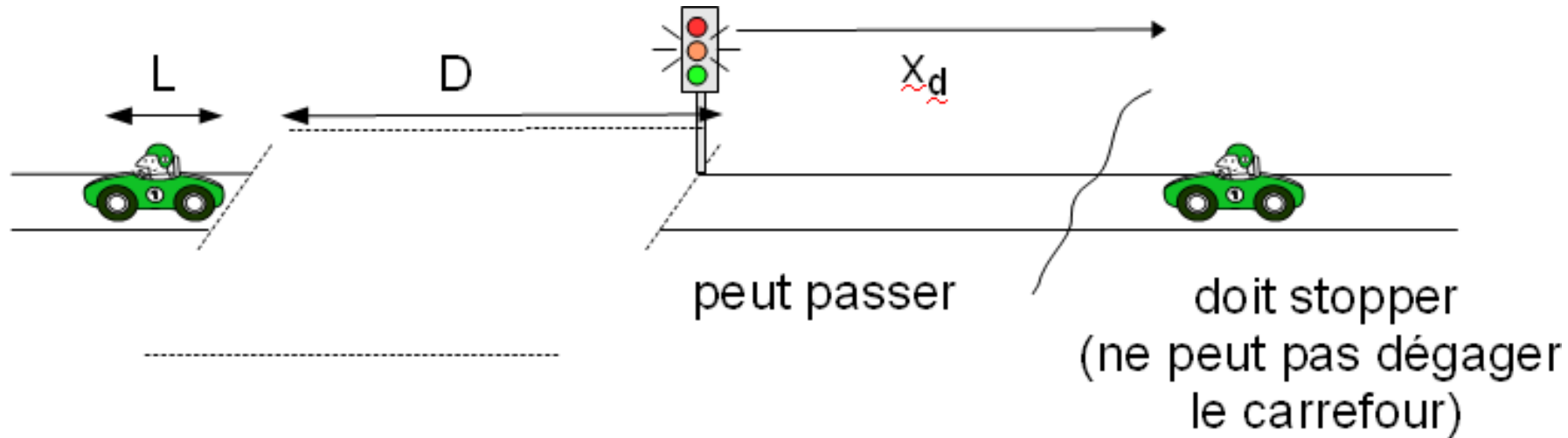
v_0 : vitesse (constante)

a : décélération (constante et positive)

avec $a = 3 \text{ m.s}^{-2}$, $v_0 = 10 \text{ m.s}^{-1}$, $t_{\text{reac}} = 1.5 \text{ s}$

$$x_f = 15 + 16.6 \gg 32 \text{ m}$$

Distance de dégagement



$$x_d = (J + R_i).v_0 - (D+L)$$

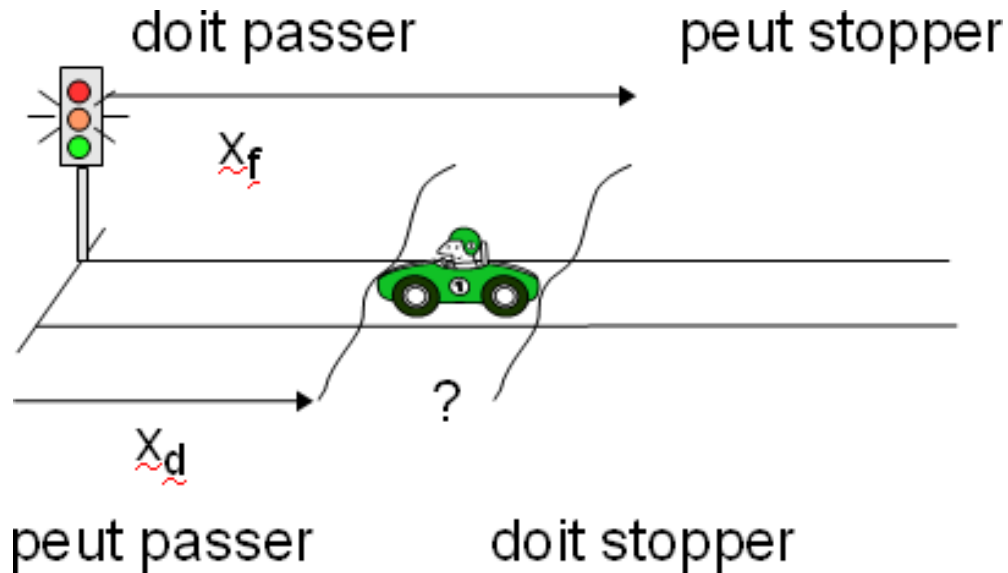
D : longueur du carrefour

L : longueur du véhicule

avec $v_0 = 10 \text{ m.s}^{-1}$, $J = 3 \text{ s}$, $R_i = 2 \text{ s}$, $L = 5 \text{ m}$, $D = 13 \text{ m}$

$$x_d = 50 - 18 = 32 \text{ m}$$

Option / dilemme



- si $x_f > x_d$ (schéma)

zone de dilemme à éviter !!

- si $x_f < x_d$

zone d'option (! collision arrière)

Cas favorable : $x_f \approx x_d \rightarrow$ modifier R_i (voire v_0)

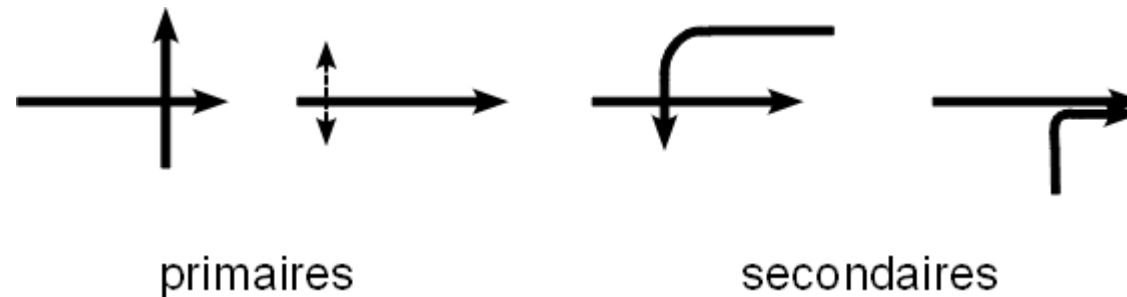
Ingénierie du trafic I

Régulation urbaine

3. Phasage et cycle

1. Construire les phases

- Séparer les conflits primaires (croisement angle droit)
- Grouper les mouvements sans conflits ou avec conflits secondaires
- Limiter le nombre de phases
le plus souvent 2, sinon 3, très rarement plus



Traitement des tourne-à-gauche (tåg)

Si non protégés, s'écoulent

- soit dans les créneaux du trafic opposé
- soit au rouge de dégagement

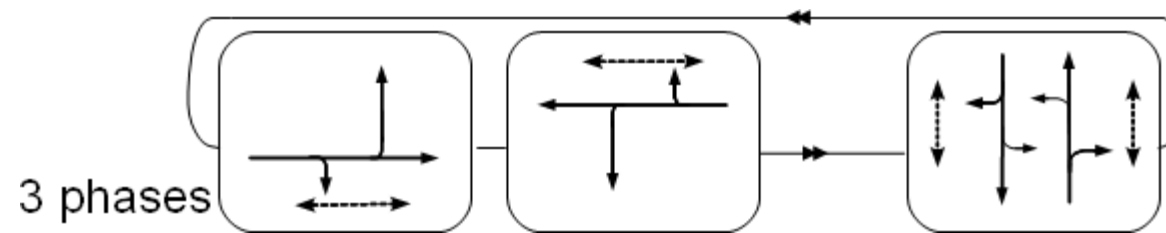
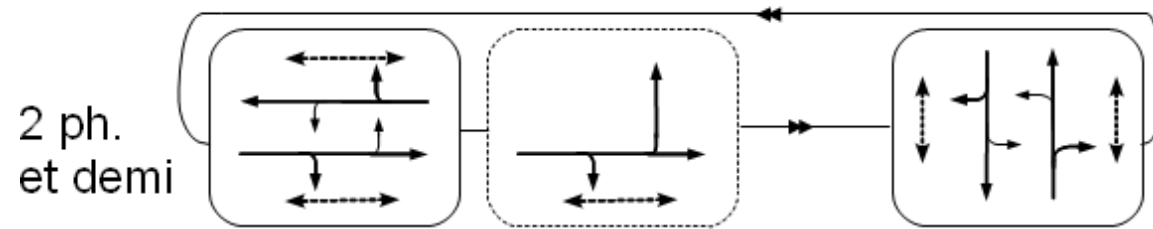
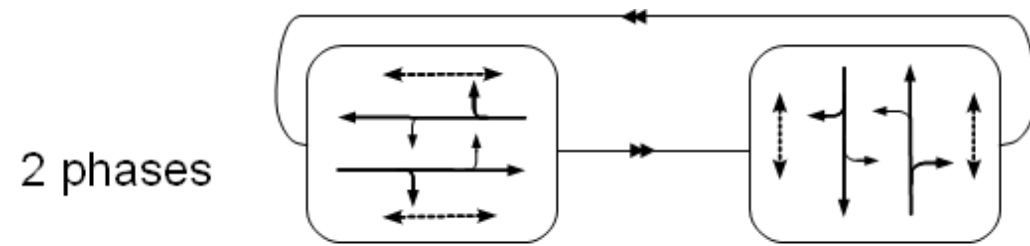
On étudie

- possibilités stockage
- volume tag
- volume opposé

Choix possibles

- permis
- permis avec décalage fermeture
- protégé (phase+1 et voie spéciale)
- interdit

Exemple carrefour à 4 branches



Coefficients d'équivalence

La demande est donnée par le **débit** : le nombre effectif de véhicules empruntant l'entrée.

On utilise des **coefficients d'équivalence** pour exprimer les débits dans une même unité: uvpd/h (unité de véhicules particuliers en mouvement direct)

- ✓ Intérêt : homogénéiser l'influence sur l'écoulement du trafic

Catégories : 1 poids lourd = 2 uvp; 1 deux-roues = 0.3 uvp;

Mouvements tournants **1 TàD = 1.1 mvt direct; 1 TàG = 1.7 mvt direct**

(si non protégé)

Débit de saturation d'entrée

Le **débit de saturation S** à l'entrée d'un carrefour à feux, est le nombre théorique maximum de véhicules pouvant utiliser le couloir sans interruption, le feu étant continuellement au vert.

S s'exprime en uvp par heure (uvp/h)
(par *heure de feu vert*).

Débit de saturation d'entrée

Calcul pratique du débit de saturation

- **$S = S_0 \prod f_i$**
- f_i facteurs correctifs
- S_0 débit de saturation théorique

Valeurs de référence pour S_0

- Petite aggro : $S_0 = 1650$ uvp/h par voie
- Grande aggro : $S_0 = 1800$ uvp/h par voie
- Avec plusieurs voies affectées à un même courant
 - 3200 uvp/h (2 voies de 3 m),
 - 4800 uvp/h (3 voies) et 6200 uvp/h (4 voies)

Débit de saturation d'entrée

Calcul pratique du débit de saturation

- $S = S_0 \prod f_i$
- f_i facteurs correctifs
- S_0 débit de saturation théorique

Facteurs correctifs f_i

- Environnement
 - Bonnes conditions (bonne visibilité, peu piétons, peu stationnement, vitesse assez élevée) : 1.1
 - Mauvaises conditions 0.9
- Pente (descente > 1 , montée < 1)
- Largeur utile de l'entrée

2. Charge du carrefour et T

Charge d'une *entrée* Y_e : rapport débit mesuré Q et débit de saturation S
(rapport demande/offre)

$$Y_e = Q/S$$

Charge d'une *phase* Y_p : la charge de l'entrée prépondérante parmi les courants admis

$$Y_p = \text{Max}_{/e} (Y_e)$$

Charge du *carrefour* Y : la somme des charges de chacune des phases

$$Y = \sum_p (Y_p)$$

3. Méthode de Webster

$$C_0 = \frac{1,5 T + 5}{1 - Y}$$

- C_0 durée du cycle optimal (en s)
- T temps total perdu par cycle (en s)
- Y charge du carrefour ($Y < 1$, carrefour non saturé)

En pratique, choix d'une valeur C proche de C_0 et qui tient compte des contraintes

ex : en ville min = 40 s et max = 90 s

4. Répartition du vert par phase

Temps total de vert disponible

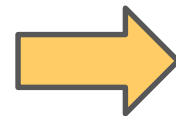
$$V' = C - T$$

Réparti entre phases selon leur charge

$$V'_p = (C - T) \cdot Y_p / Y$$

On en déduit les vert réels

$$V_p = V'_p + TP/ph - J$$



5. Diagramme des feux

Capacité et saturation

Capacité d'une entrée

$$Capacité(e_i) = \frac{g_i}{C} S_i \quad g_i : \text{vert utile}$$

Taux de saturation d'une entrée

$$Saturation(e_i) = X_i = \frac{\frac{Q_i}{S_i}}{\frac{g_i}{C}} = \frac{Y_i}{\frac{g_i}{C}} = \frac{Q_i}{Capa(e_i)}$$

Saturation du carrefour (1 – Réserve de capacité)

$$Saturation(Ka) = \frac{Y}{\frac{(C-T)}{C}}$$

Capacité et saturation (S uniforme)

$$Y_i = \frac{Q_i}{S} \qquad Y = \frac{Q}{S}$$

$$Capa(e_i) = \frac{g_i}{C} S \qquad Capa(Ka) = \lambda . S$$

$$Satur(e_i) = \frac{Q_i}{Capa(e_i)} \qquad Satur(Ka) = \frac{Y}{\lambda} = \frac{Q}{\lambda . S}$$

$$\text{en notant} \quad \lambda = \frac{C - T}{C}$$

6. Piétons

- θ = temps nécessaire pour traverser un couloir
- θ est calculé :
 - sur la base d'une vitesse de déplacement des piétons de **1m/s**
 - valeur minimale de 6 s.
- Comparé à R durée de rouge véhicule



Temps de traversée

Si $R \geq \theta$

pour toutes les entrées : contraintes de sécurité respectées.

Si $R < \theta$

pour une ou plusieurs entrées : il faut modifier le cycle.

Cette circonstance survient pour les carrefours à 2 *phases* essentiellement.

Modification du cycle

Carrefour à 2 phases

1. Le nouveau temps de rouge R_1^* de la phase considérée est pris égal au temps de traversée des piétons : $R_1^* = \theta$

2. On calcule le nouveau temps de vert utile de l'autre phase :

$$V_2' = R_1^* - (r_1 + r_2) - tp_2$$

- r_1 et r_2 temps de rouge intégral des phase 1 et 2
- tp_2 temps perdu pour la phase 2

Modification du cycle

Carrefour à 2 phases

3. On détermine le nouveau temps de vert utile de la première phase en l'augmentant **proportionnellement** :

$$\frac{V_1'}{V_1} = \frac{V_2'}{V_2} \quad \text{soit} \quad V_1'^* = \frac{V_2'}{V_2} V_1'$$

Modification du cycle

Carrefour à 2 phases

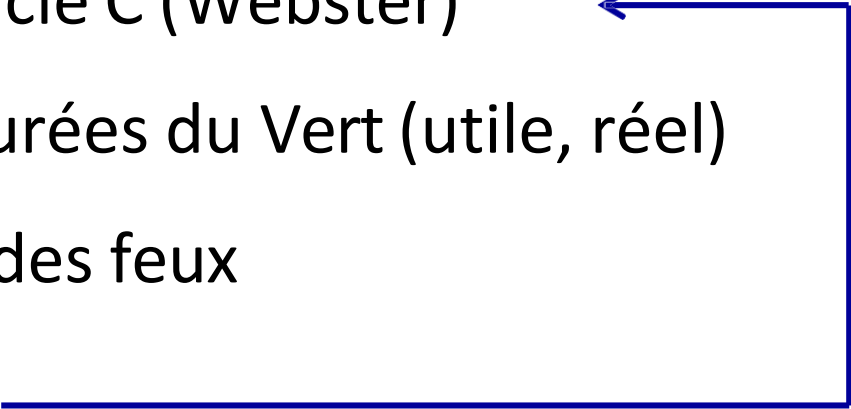
4. La nouvelle durée du cycle est donnée par $C^* = V'1^* + V'2^* + T$

Cette durée doit être inférieure à la limite supérieure de durée du cycle.

5. On détermine les nouveaux temps de vert réels $V^*p = V' p^* + tp - j$

Récapitulatif

Étapes

1. Phases (nombre, mouvements)
 2. Charge du carrefour Y , temps total perdu T
 3. Si $Y < 1 \rightarrow$ Cycle C (Webster)
 4. Calcul des durées du Vert (utile, réel)
 5. Diagramme des feux
 6. Piétons ?
- 

Merci