

CIV6706A

Régulation de la circulation – Coordination des feux – partie 1



**POLYTECHNIQUE
MONTREAL**

LE GÉNIE
EN PREMIÈRE CLASSE

École Polytechnique de Montréal

Département des génies civil, géologique et des mines

Automne 2017

BÉNÉFICES

Le but de la **coordination des feux** est le lissage de la progression de la circulation et des pelotons. On dénote les avantages associés suivants:

- Réduction du nombre d'arrêts
 - **Diminution du retard**, du temps de parcours moyen
- Diminution de la consommation de l'essence (accélération/freinage, marche immobilisé)
 - Diminution de la pollution de l'air
- Augmentation de la fluidité
 - Augmentation de la capacité/efficacité du système
- Peut entraîner une certaine amélioration du comportement du conducteur vis-à-vis la vitesse

DÉFIS

L'efficacité dépend d'une certaine homogénéité du réseau, et parfois même, la coordination peut nuire à la fluidité de la circulation!

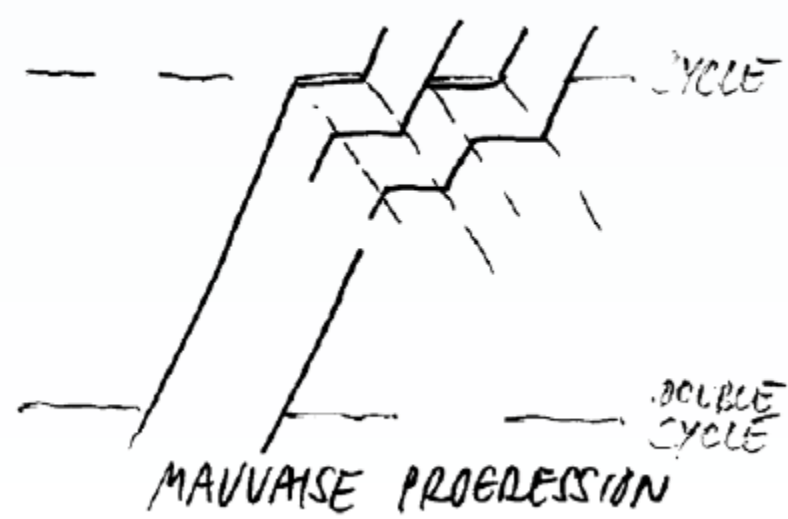
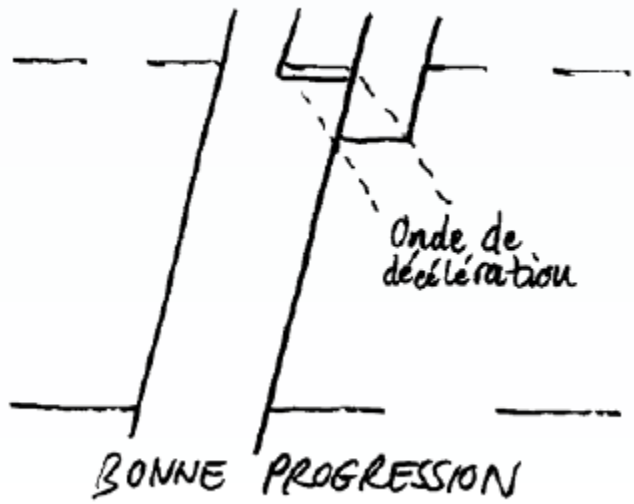
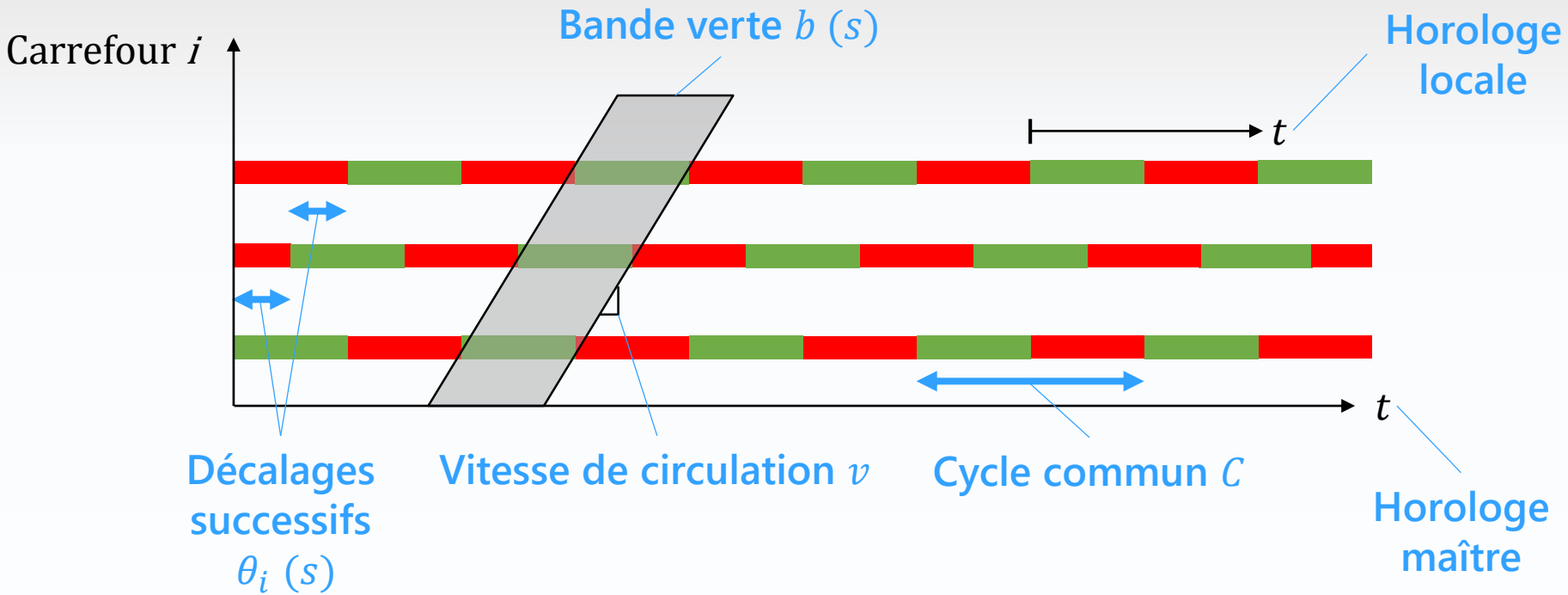
- Capacité de la route
- Frottement latéral (stationnements, livraisons, entrées privées, débits élevés de véhicules tournant)
- **Généralement incompatible avec optimisation feu isolée**
 - Carrefours complexes à phases multiples ou feux adaptatifs*
- Vitesse de conduite variable (parcs, zone écolières, rétrécissement des voies, etc.)
- Direction(s) de(s) (la) coordination(s)
- Longueur de(s) (l')approche(s)

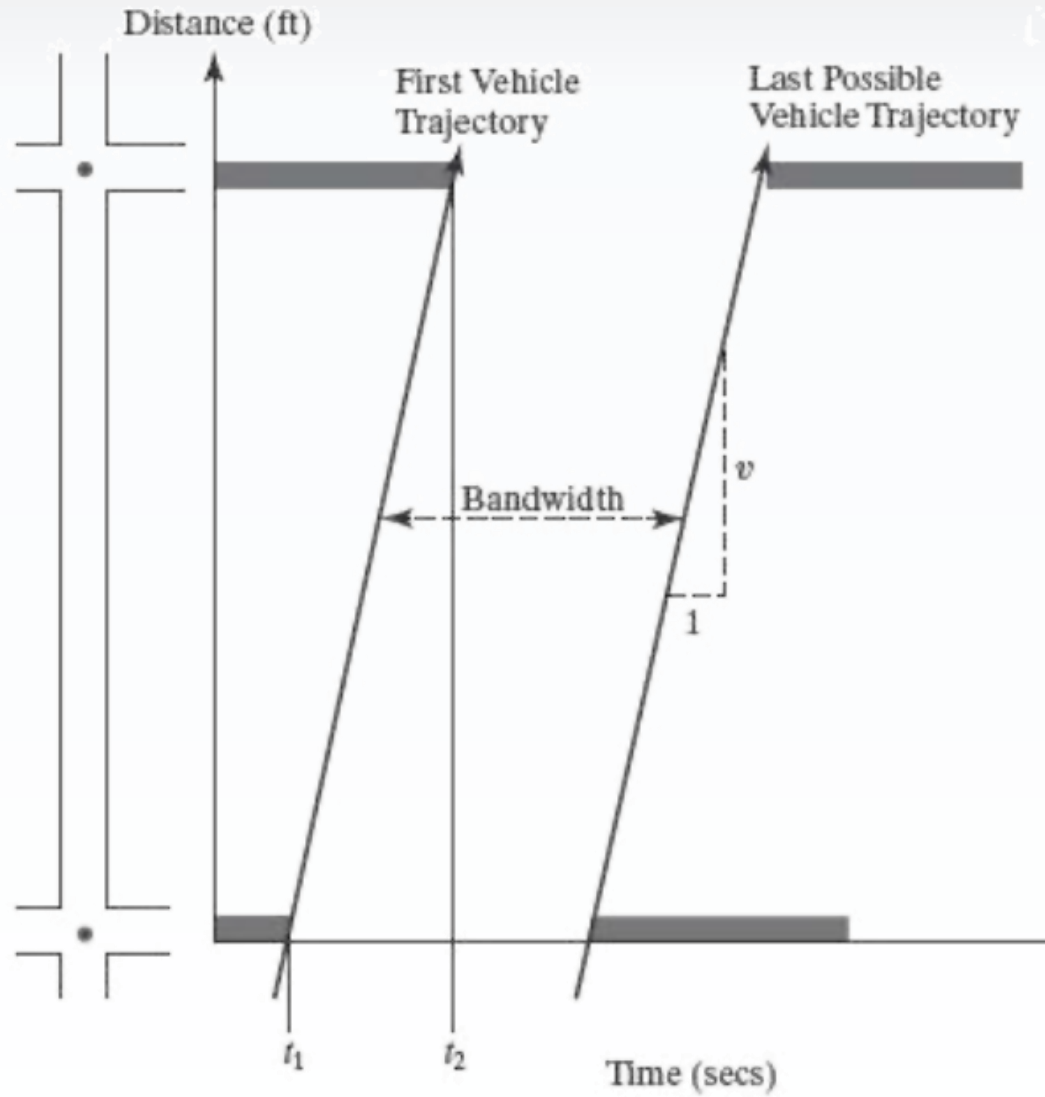
PARAMÈTRES

Le **décalage** θ_i entre le feu i et le feu en amont $i - 1$ décrit principalement le temps de parcours attendu entre le feu i et le feu en amont $i - 1$, mais peut être ajusté en fonction des files d'attente attendues ou détectées.

À part le décalage, il faut implémenter un certain niveau de synchronisation entre la **durée des cycles** et la répartition de la **durée de vert** sur les approches en suite.

- Choix du cycle selon le **carrefour critique**.





MESURES D'EFFICACITÉ

Efficacité de la bande verte E :

$$E = \frac{b}{C} \times 100\%$$

- On remarque que b (secondes) est généralement limité par le vert effectif le plus petit, ou $\min(g_i)$, d'où l'intérêt à utiliser le même g_i pour tout les cycles, si possible et si raisonnable.
- E de 40 à 50% ou plus est jugé bon.

Capacité de la bande Q_b :

$$Q_b = \frac{3600 \times b \times N}{h \times C} \text{ veh/h}$$

où: h = écart se saturation (s)

N = nombre de voies dans la direction étudié (ln)

Il est à noter que si le corridor est sursaturé (demande $> Q_b$), l'efficacité de la coordination disparaît rapidement, car il y auras débordement progressif au début de chaque approche!

DÉCALAGE IDÉAL

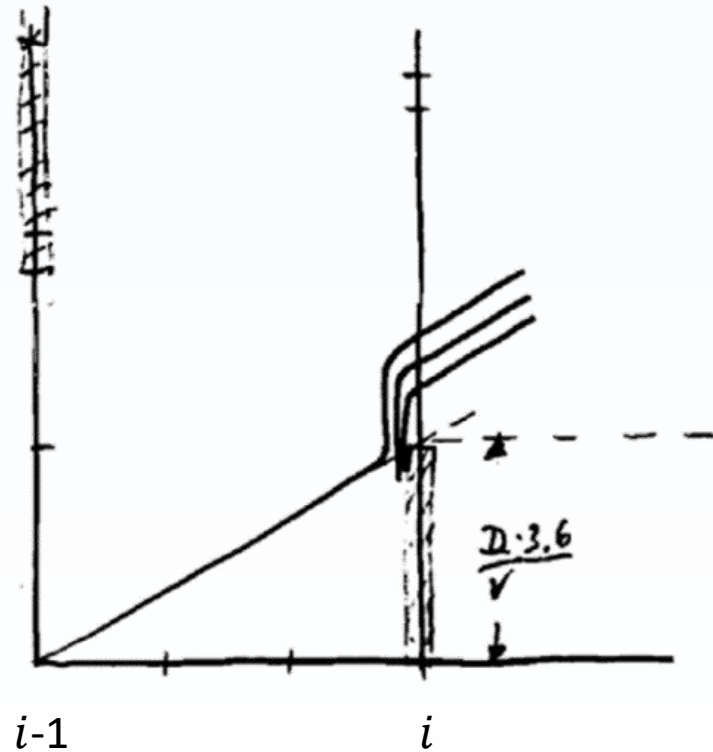
Permet à un véhicule partant au début du vert au feu $i - 1$ d'arriver au début du vert au feu i .

$$\theta_i = \frac{D_i \times 3.6}{v}$$

où: D_i = distance de parcours séparant le feu i et le feu en amont $i - 1$ (en mètres);
 v = vitesse de circulation du peloton (km/h), soit la vitesse de circulation désiré

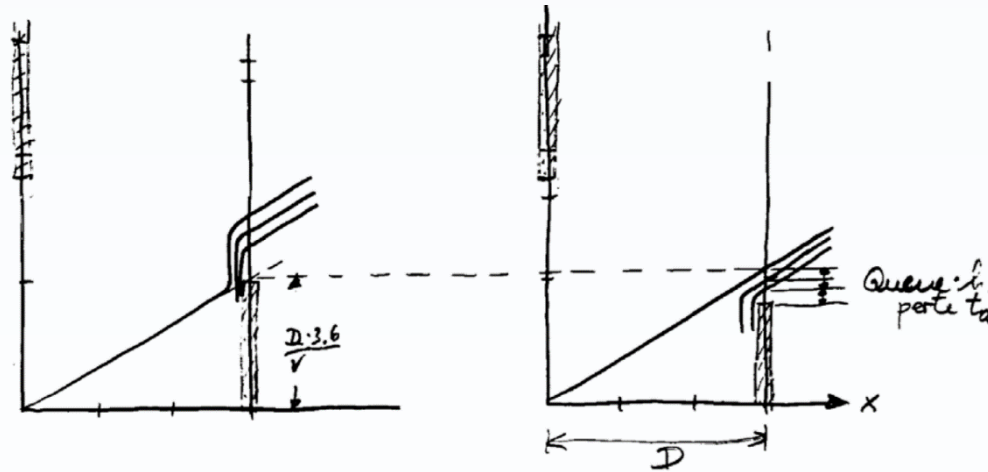
Meilleure performance aux alentours de $300m < D_i < 800m$.

Que faire si l'approche i comporte une file d'attente?



Que faire si l'approche i comporte une file d'attente?

- Diminuer le décalage pour prendre en compte le **temps de dissipation de la file d'attente** au feu i .



$$\theta_i = \frac{D_i \times 3.6}{v} - t_{qi}$$

où: t_{qi} = temps de dissipation de la file d'attente

ESTIMATION DU TEMPS DE DISSIPATION

Estimation rudimentaire :

$$t_{qi} = TPR + \frac{L_{qi}}{\omega}$$

où: TPR = temps de perception et de réaction +
accélération (environ 2~4 s)

L_{qi} = longueur de la file d'attente (mètres) de
l'approche au carrefour i

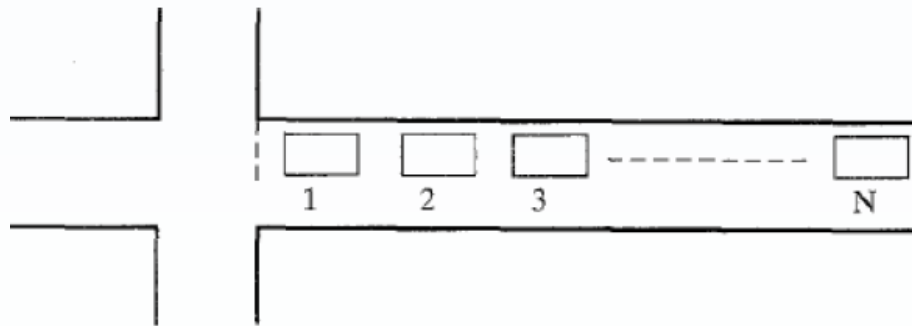
$\omega = \frac{Q_{capacité}}{k_{file}}$ vitesse de dissipation (voir Chapitre 1);
s'approxime (environ 3~10 m/s)

Estimation avec modèle de dissipation :

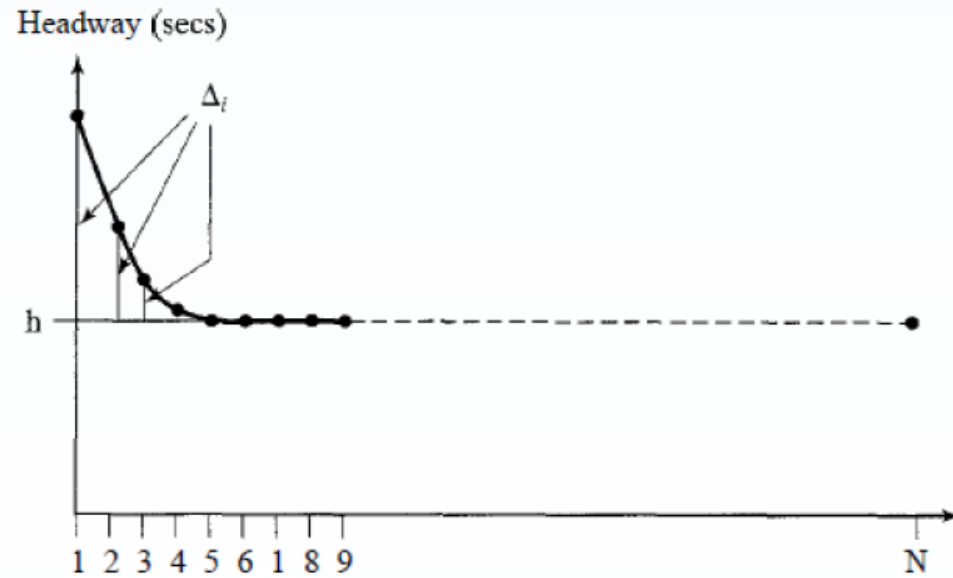
$$t_{qi} = \sum_{j=1}^N h_s + \Delta t_j$$

où: h_s = écart de saturation (s)

Δt_j = temps de démarrage du véhicule j , approche i



(a) Vehicles in an Intersection Queue



(b) Average Headways Departing Signal

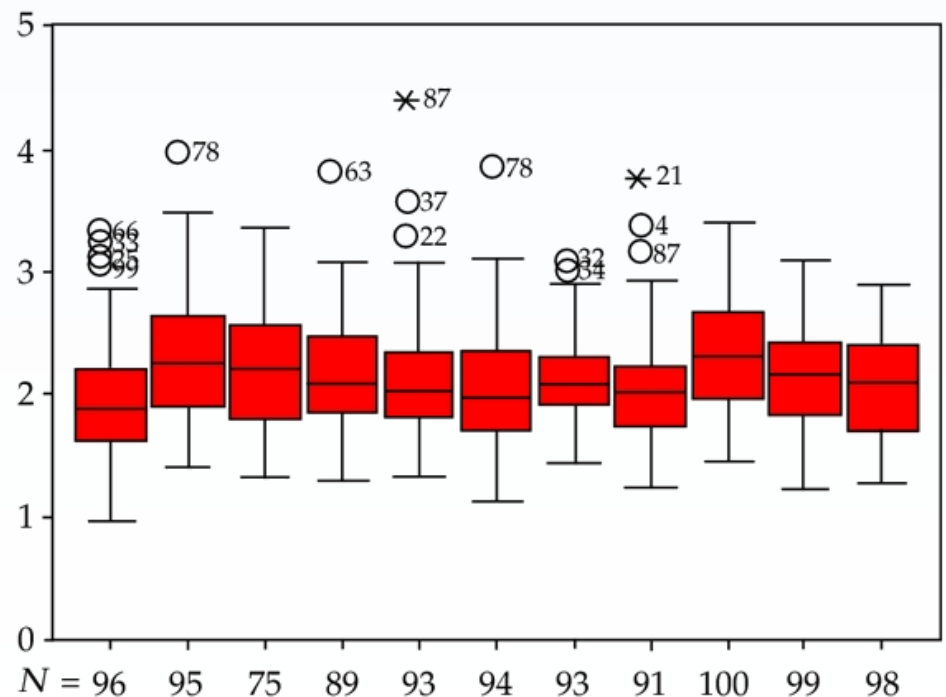
Δt_j est souvent une fonction de décadence $f(j)$, ou peut aussi être exprimé en somme, soit le temps perdu (tout les véhicules) au démarrage du feu vert.

L'écart suit généralement les créneaux de sécurité et de saturation.

- Une valeur autour de 2 secondes est généralement observé pour des conducteurs humains, peut importe la vitesse.

$$h_s = \frac{3600}{s}$$

$$s = 1900 \frac{veh}{h}, h_s = 1.9s$$



<http://www.hindawi.com/journals/ddns/2012/720474/>

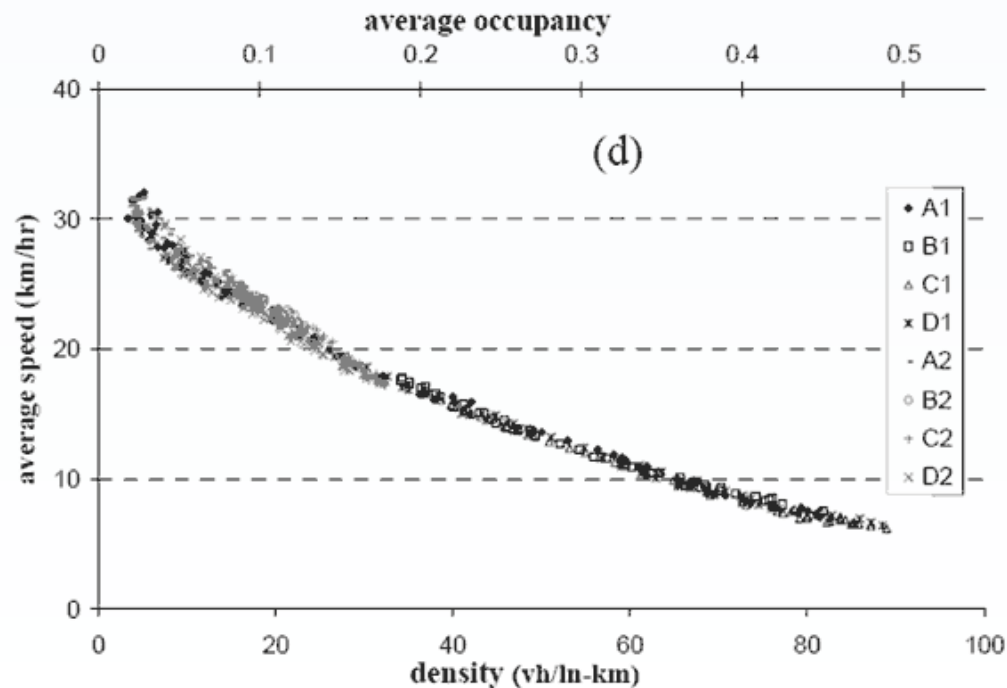
VITESSE DE CIRCULATION D'UN PELOTON

La vitesse désirée influence le comportement. Selon la politique de conception, on utilise :

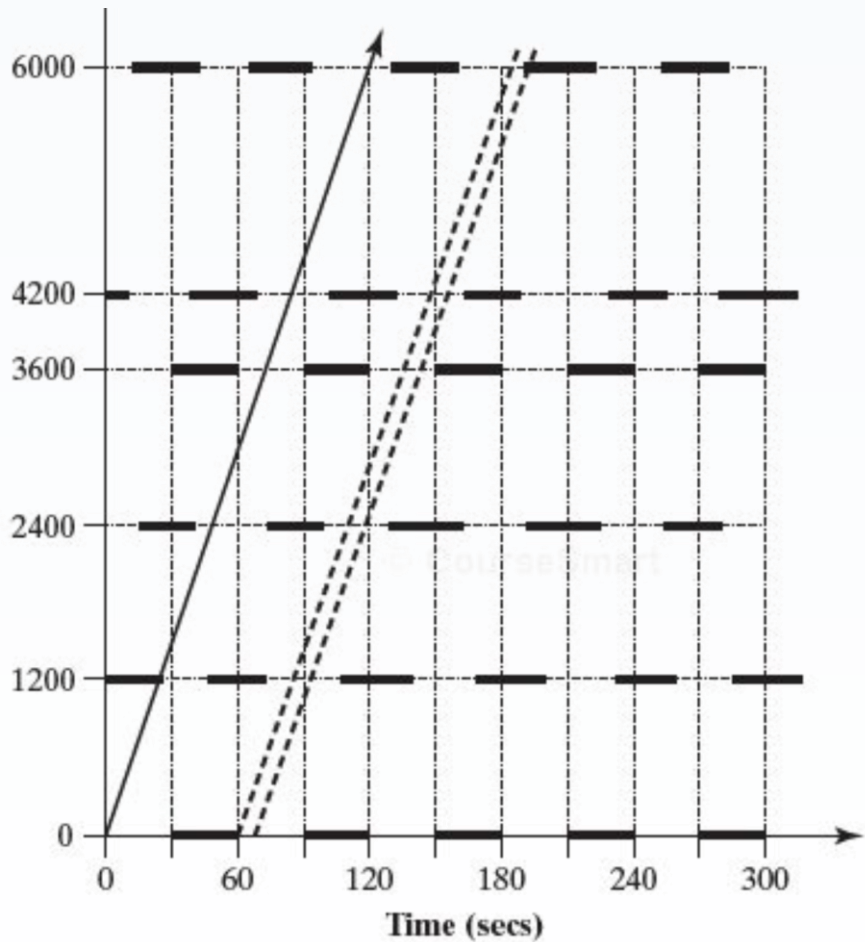
- Limite de vitesse
 - Conception visant la sécurité
 - Politique de conception habituelle pour la circulation motorisé, sauf s'il y a présence de congestion
- Vitesse moyenne
 - Conception visant la capacité
 - Mieux adaptée si les automobilistes ont tendance à conduire en dessous de la limite de vitesse, que se soit dû à la congestion ou à d'autres effets.
- Vitesse à écoulement libre
 - Conception visant le confort (p.ex. vitesse de marche des piétons)

S'il manque des données de vitesse moyenne, la vitesse de circulation peut aussi être estimée avec un modèle de circulation, p. ex. Greenshields ou Greenberg.

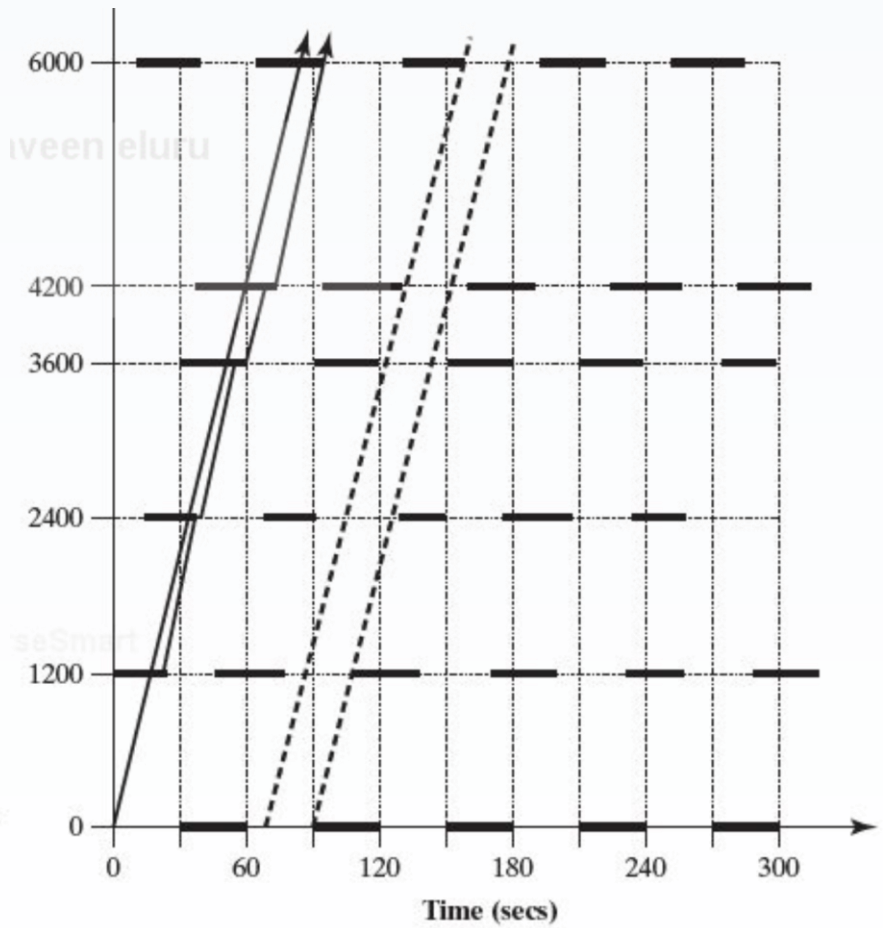
$$v = \frac{q}{k}$$



Pour un décalage basé sur une vitesse de 18 m/s , la bande passante pour d'autres vitesses de conduite:



15 m/s

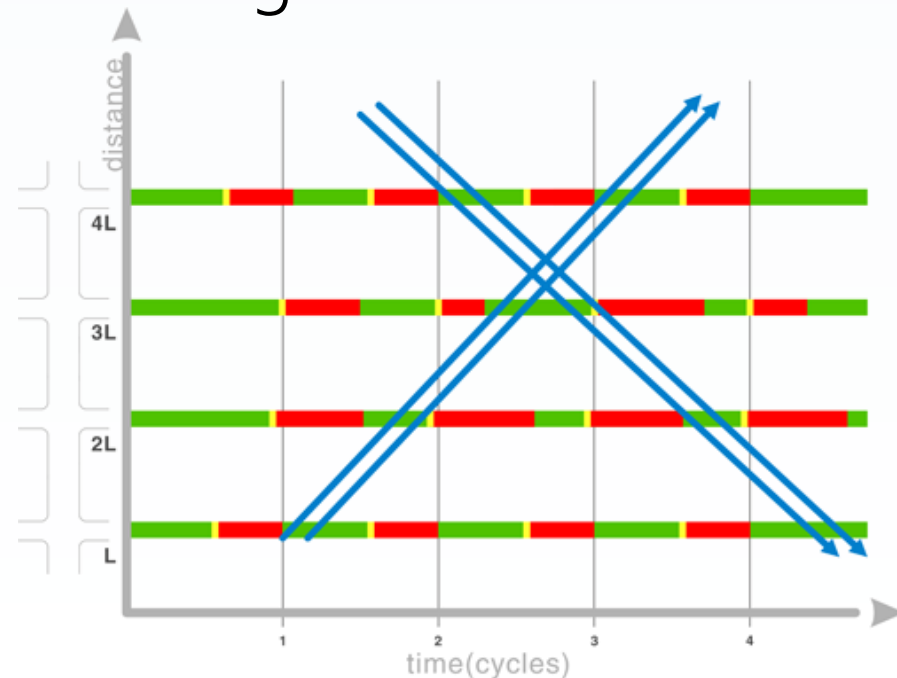


21 m/s

DIRECTION DE LA COORDINATION

Un **groupe de coordination** et un regroupement de mouvements ayant plus ou moins le même vecteur de vitesse (direction et magnitude de déplacement). Chaque groupe nécessite un décalage distinct.

- Généralement, on retrouve deux directions de mouvements de véhicules par corridor (rue a double sens)
- Cependant, on retrouve d'autres mouvements:
 - Piétons, cyclistes, transport en commun, voies de service*



Les feux peuvent être coordonnés facilement dans une direction (un seul groupe),

- on rencontre des problèmes de contrainte pour des carrefours partagés par deux ou plusieurs groupes de coordination.

La difficulté viens du fait que:

- Chaque mouvement d'approche induit un décalage nécessaire si les vitesses d'approche ou les distance de parcours en amont ne sont pas régulier.
- Il ne peut y avoir qu'un seul décalage par pair de feux.

On rencontre encore plus de difficultés à coordonner les artères entrecroisées ou à effectuer la coordination d'un réseau maillé dû à la **contrainte de circuit**.

La pratique courante est de coordonner une seule direction à la foi, généralement dans le sens le plus achalandé, en fonction d'une demande polarisée lors de l'heure de pointe.

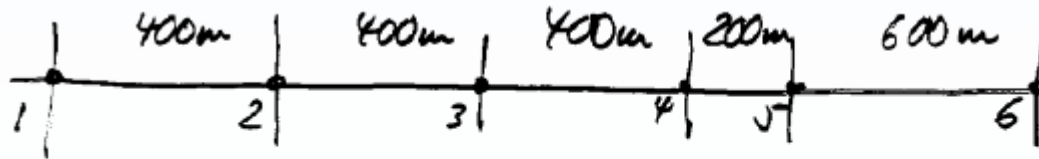
- N.B. : La coordination peut suivre le virage d'un débit critique (p.ex. TAD ou TAG > 50%)

Certains corridors sont décalés à l'envers afin de décongestionner le corridor saturé (on note alors que $n \times C > t_{qi} > \frac{D_i \times 3.6}{v}$).

On souligne aussi que certaines politiques de conception tentent intentionnellement de **décourager la circulation** (*traffic calming*) en synchronisant le feu rouge à l'arrivé de chaque carrefour.

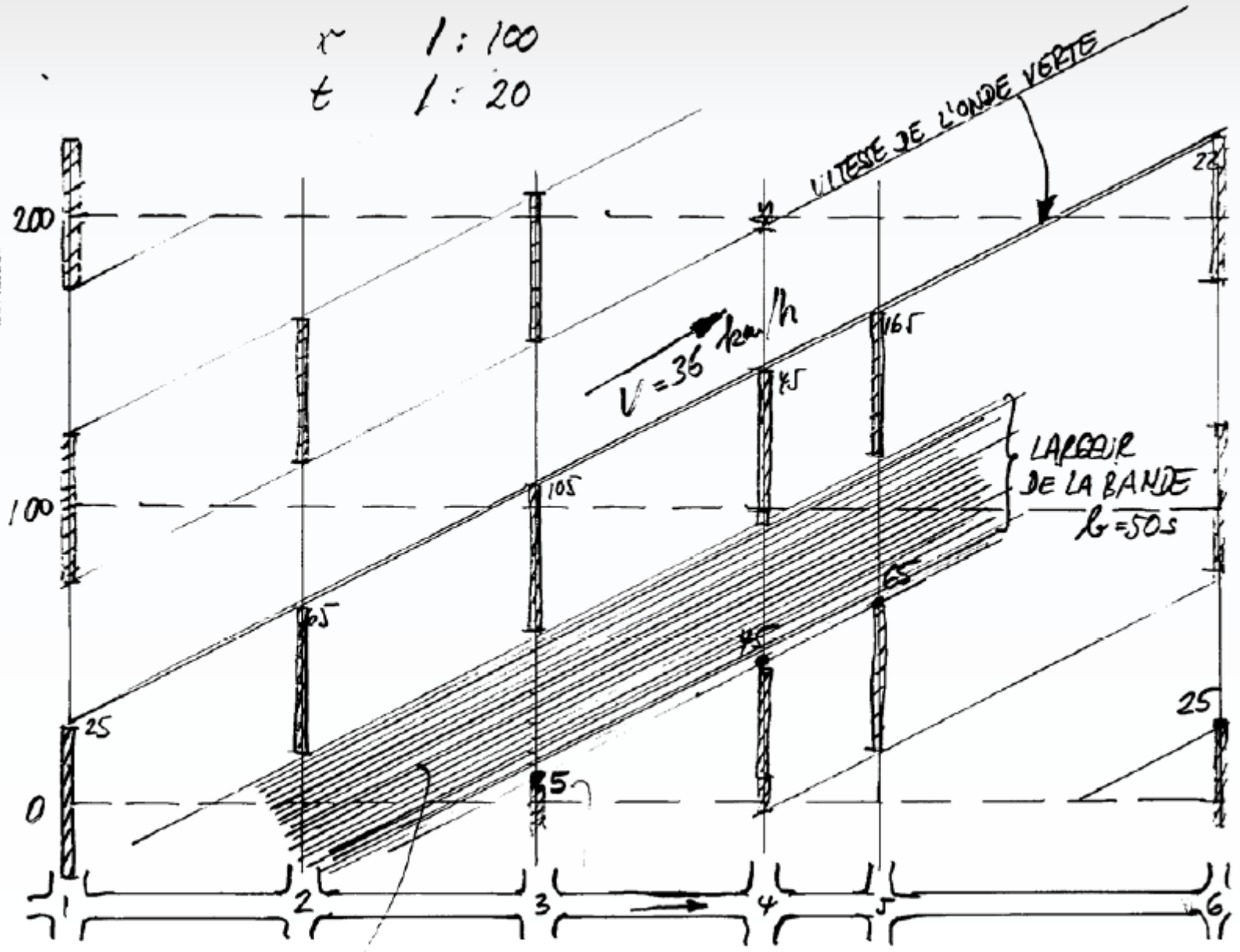
COORDINATION À SENS UNIQUE

Coordination très simple, mais application généralement limité aux routes artérielles à sens unique (p.ex. [University](#), [St-Laurent](#), [St-Catherine](#)) ou dans la direction la plus achalandée (p.ex. heure de pointe d'une origine achalandée particulière).

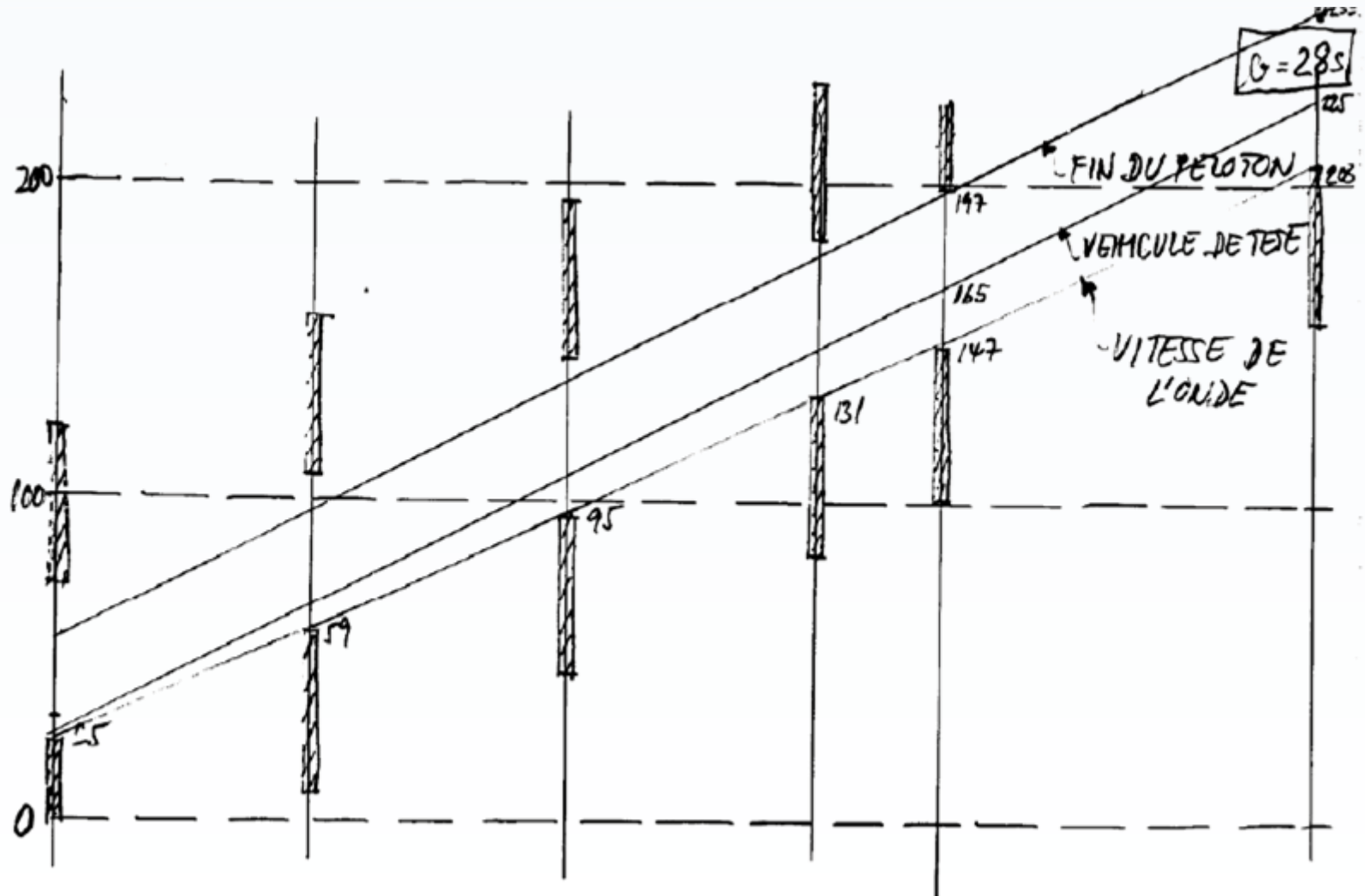


$C = 100 \text{ s}$; VERT 50/50 ; VITESSE: 36 km/h

r 1:100
 t 1:20

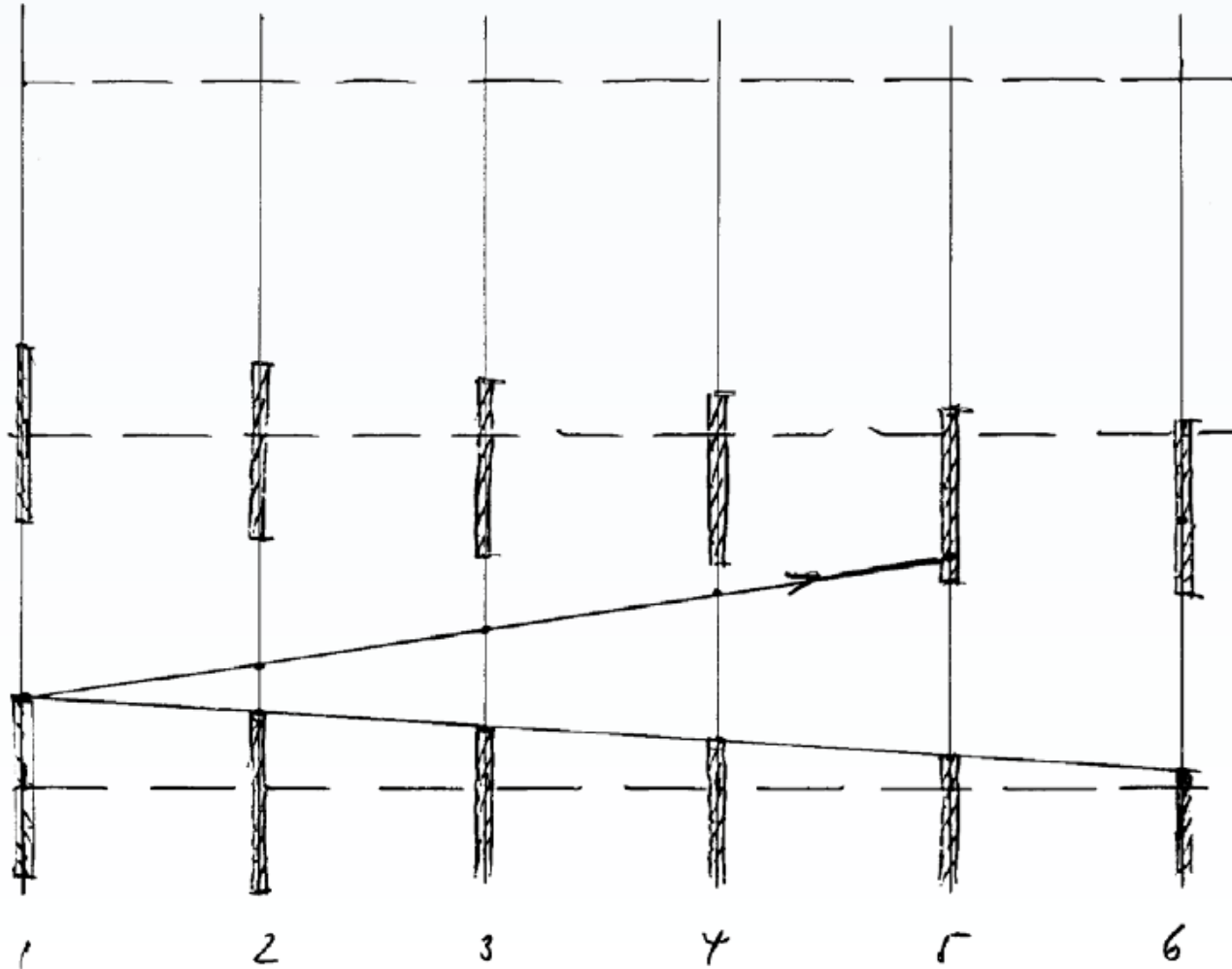


Avec file d'attente en moyenne de deux véhicules par carrefour:



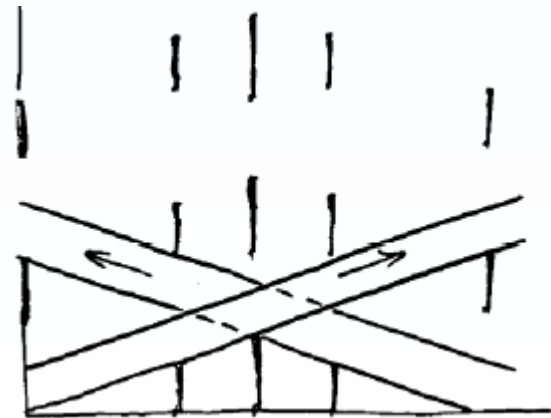
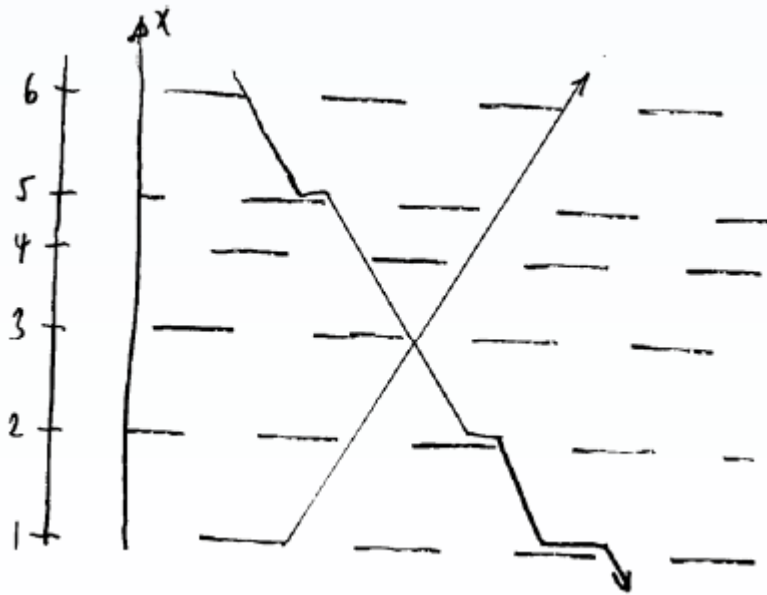
Exemple de la coordination à l'envers :

Files d'attente = 7 véh; $v = 60\text{km/h}$; $D_i = 167\text{m}$



COORDINATION À DOUBLE SENS

Problèmes de coordination des décalages avec la **géométrie irrégulière** et le décalage des cycles hors phase :



Exemple à Montréal :

$$g_{\text{Sherbrooke}} = 40s$$
$$C = 60s$$



124m

156m



Les groupes de coordination ne sont pas nécessairement des mouvements antagonistes:

- Piétons



94m



$$g_{St-Catherine} = 35s$$

$$C = 70s$$

$$v_{veh} = 50km/h$$

$$v_{ped} = 5km/h$$

Les groupes de coordination ne sont pas nécessairement des mouvements antagonistes:

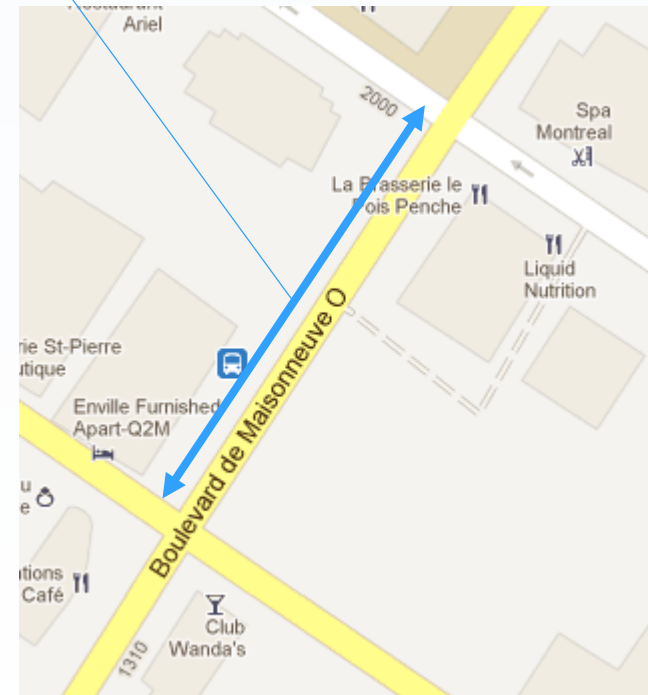
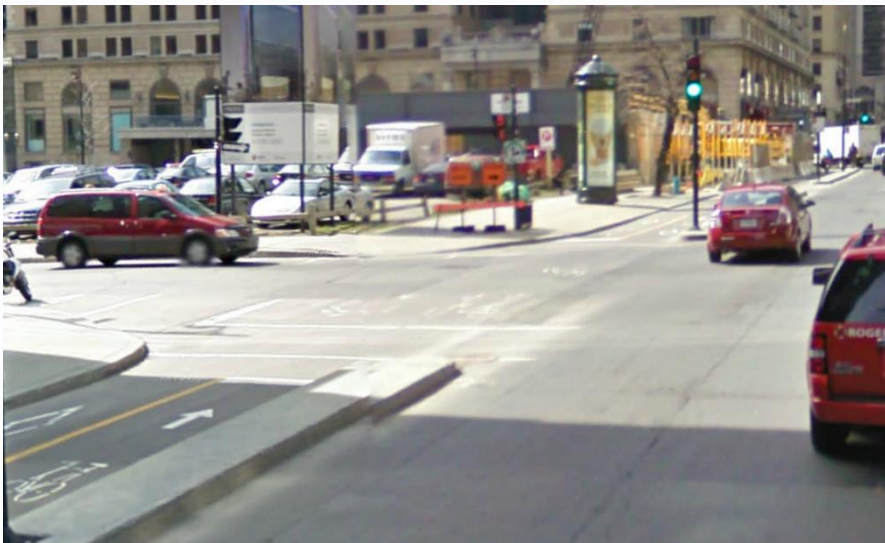
- Cyclistes

$$g_{Maisonneuve} = 35s$$
$$C = 70s$$

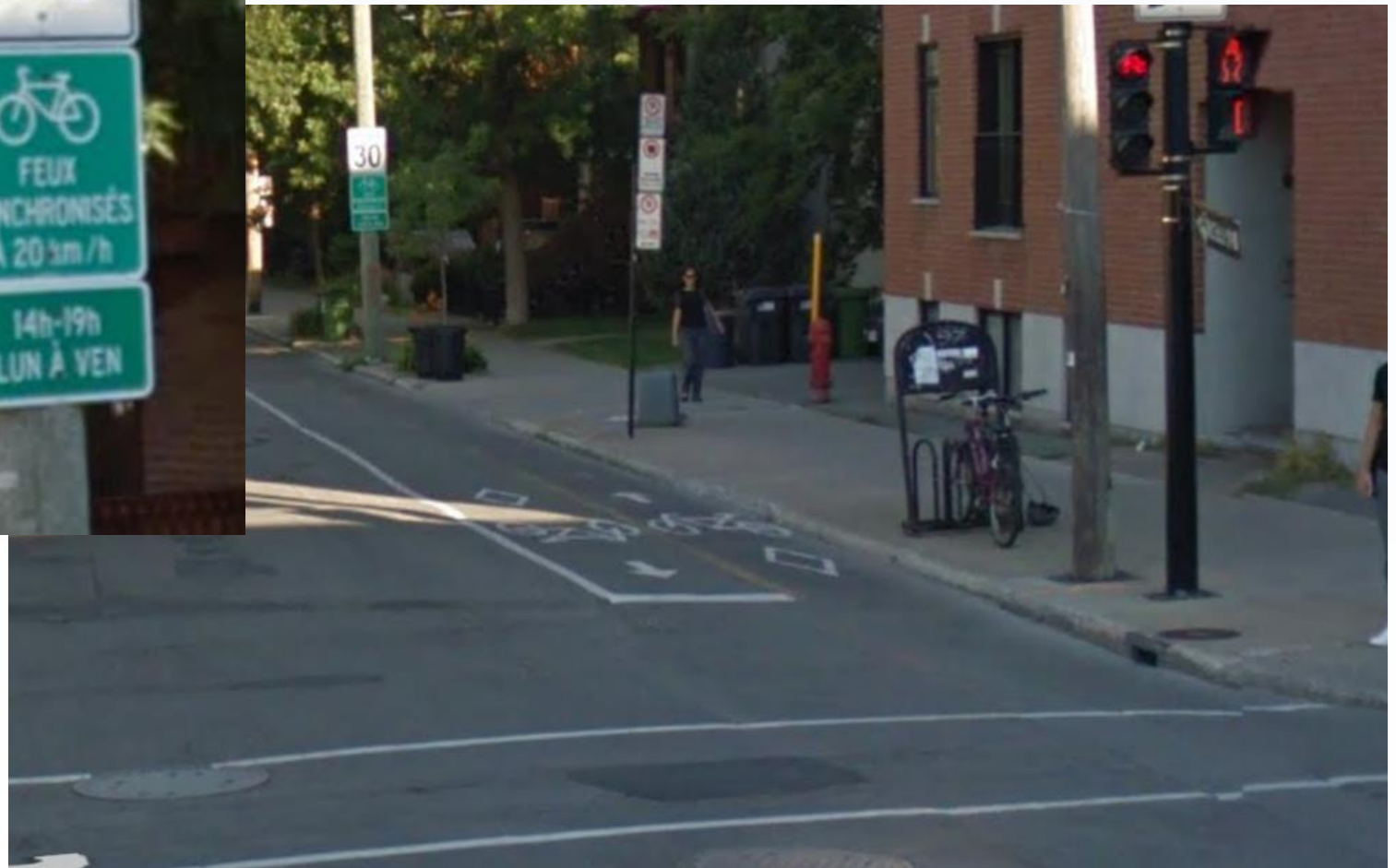
$$v_{veh} = 50km/h$$

$$v_{cyc} = 22km/h$$

103m



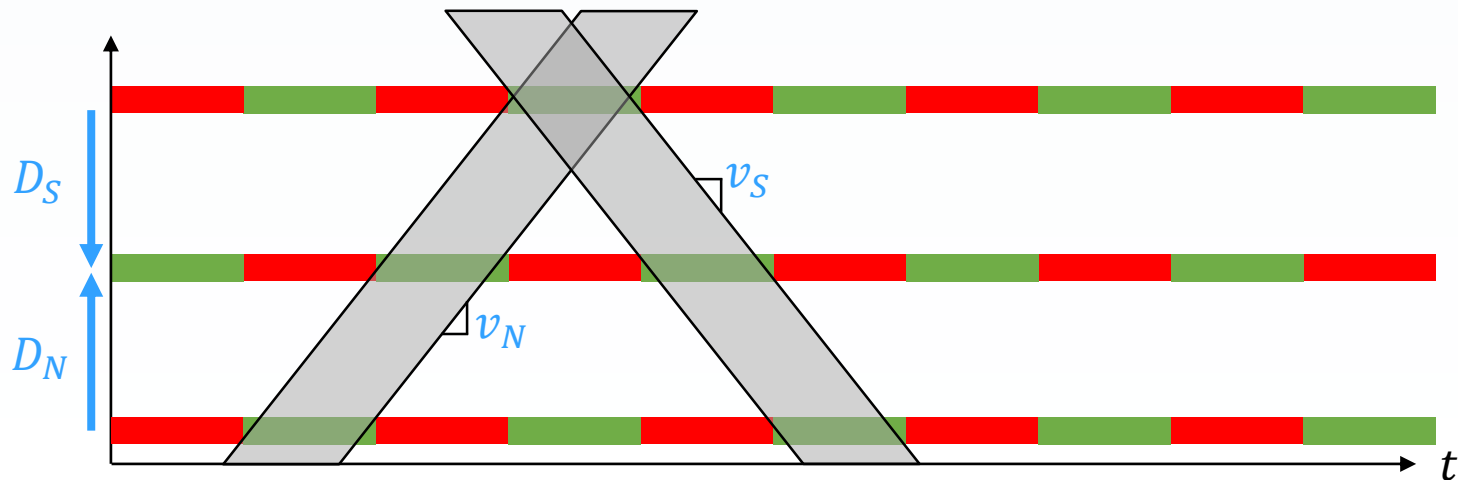
v_{cyc} varie entre 10 km/h et 30km/h. Pour qui concevoir?



COORDINATION À DOUBLE SENS

Solution possible avec **géométrie régulière** et un seul degré de liberté parmi :

- Cycle C commun
- Distance D_i entre intersections constante
- Vitesse v_i de conduite constante

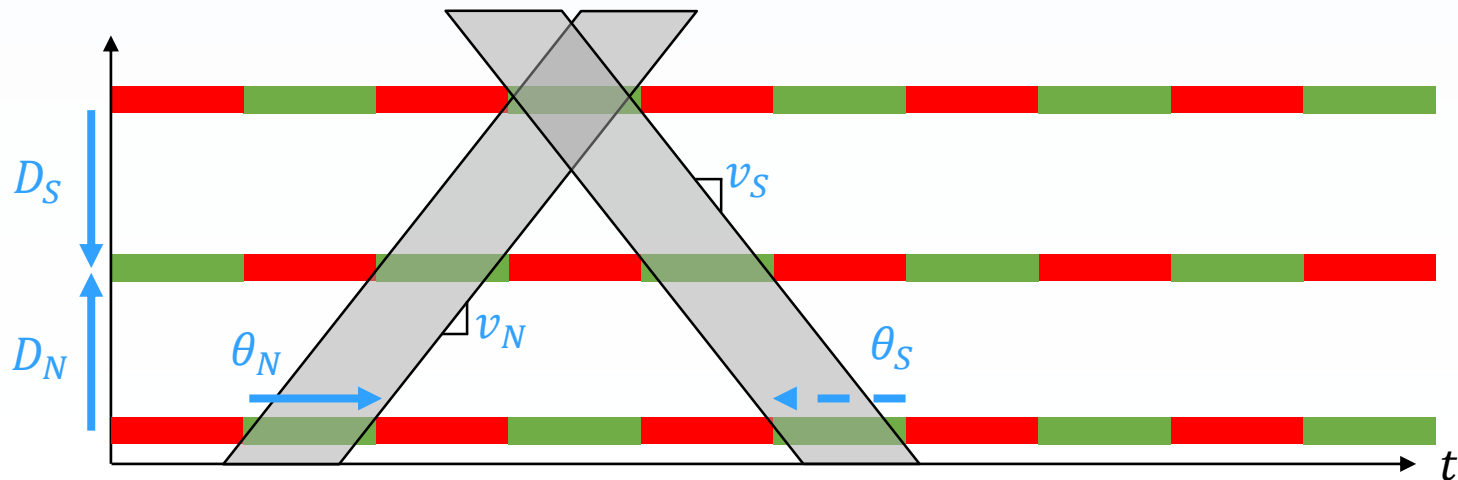


Solution idéal : $g_i = r_i$, et choisir D_i , C et/ou v_i tel que le temps de parcours des deux directions est en phase avec la durée du cycle.

$$D_N = D_S, \quad v_N = v_S$$

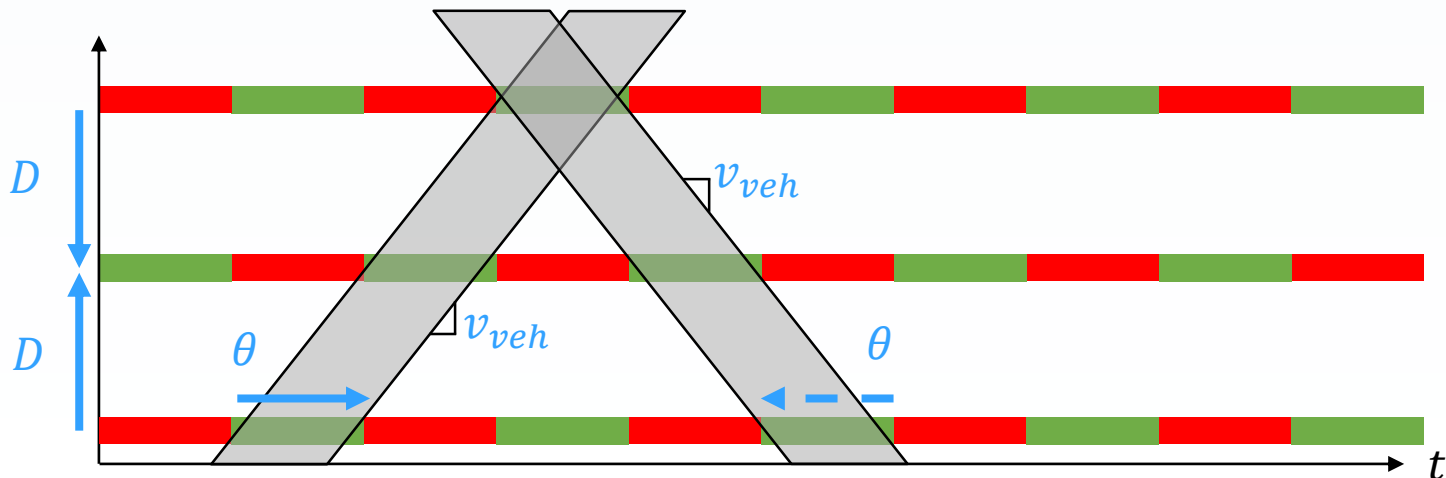
$$C = \theta_N + \theta_S$$

$$C = \frac{D_N \times 3.6}{v_N} - t_{qN} + \frac{D_S \times 3.6}{v_S} - t_{qS}$$



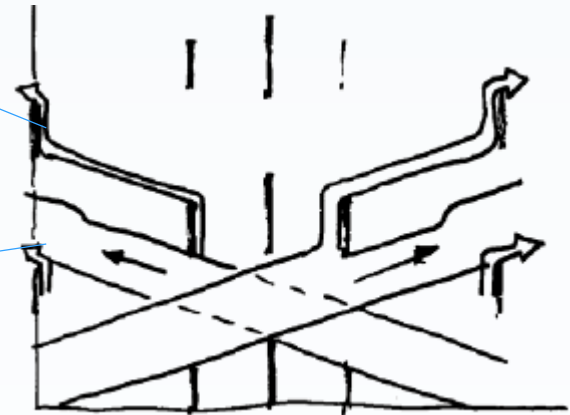
$$C = \frac{2D \times 3.6}{v} - t_{qE} - t_{qW}$$

- Avec $v_{veh} = 50km/h$ et aucune file d'attente:
 - un cycle de 30 secondes nécessite $D = 208m$
 - un cycle de 90 secondes nécessite $D = 625m$
- Contraintes sur ces paramètres:
 - Changement des D existantes très coûteux, sinon impossible
 - Retards accumulés par la sélection d'un C commun non-optimale (perte de l'efficacité d'une conception isolée)
 - Vitesses limitées par la sécurité et le confort des usagers

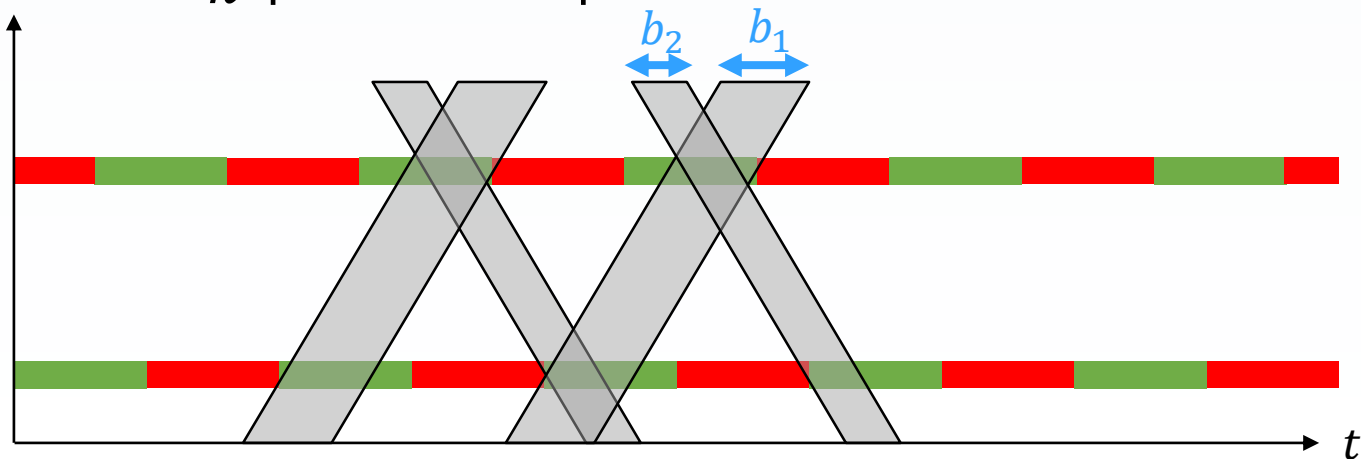


Sinon, on observe un **rétrécissement de la bande verte b** et des files d'attente.

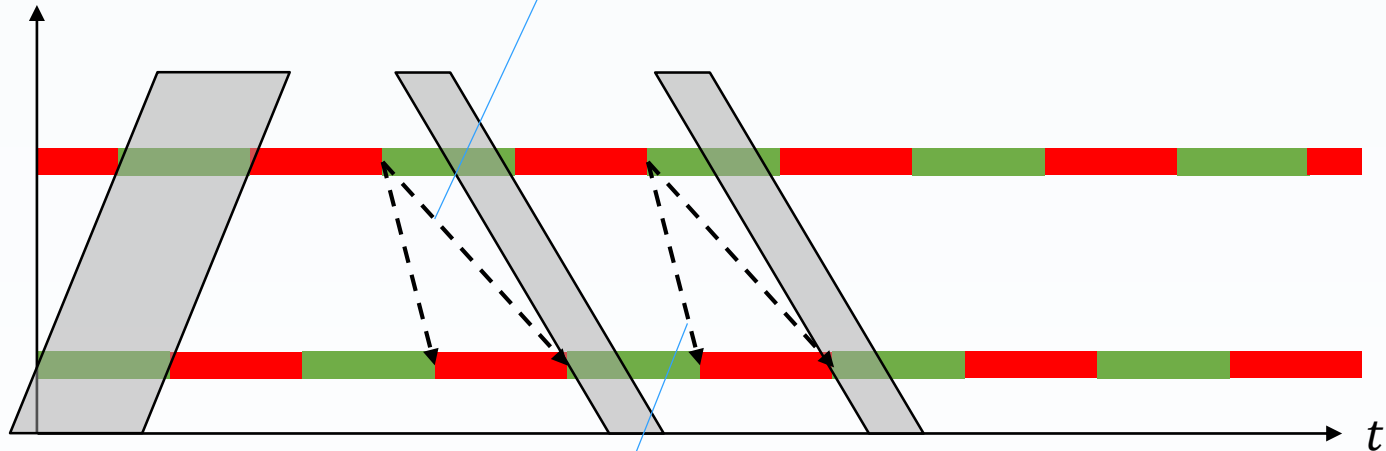
- Files d'attentes dû à une mauvaise progression à l'arrivé des feux
- Files d'attentes dû à la sursaturation et du débordement de la progression



Problème d'optimisation des décalages afin de maximiser b_k pour chaque mouvement k .



Ralentissement du conducteur?



Accélération du conducteur?

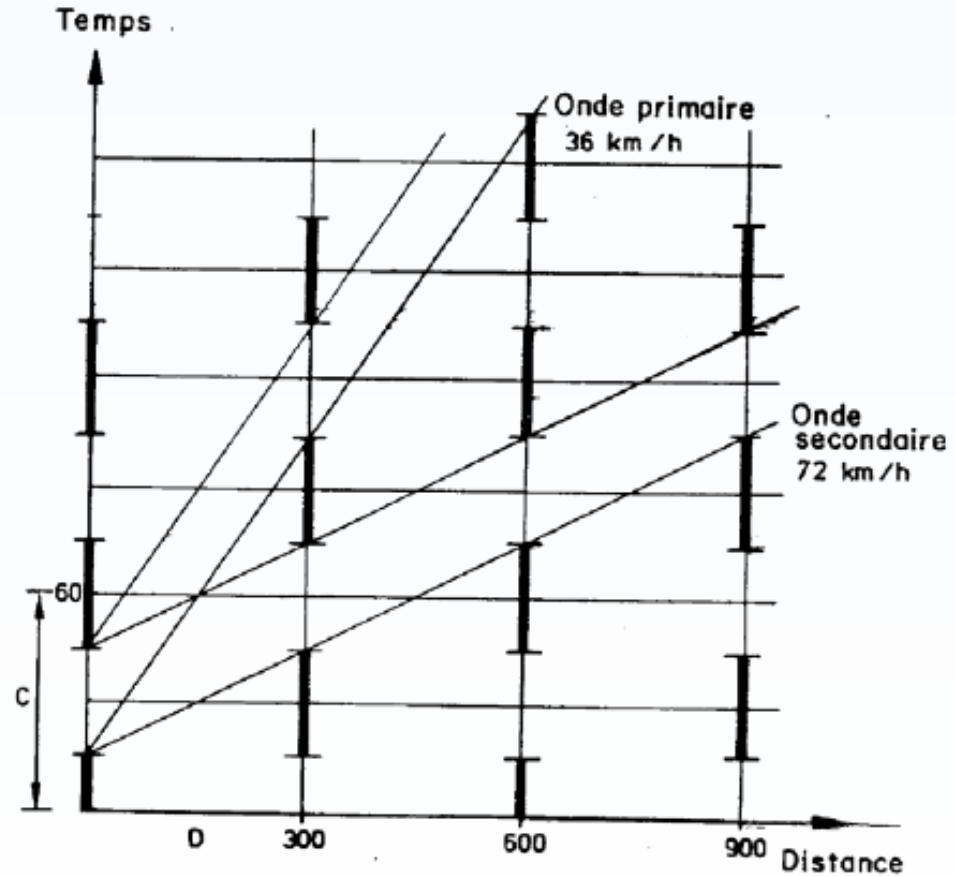
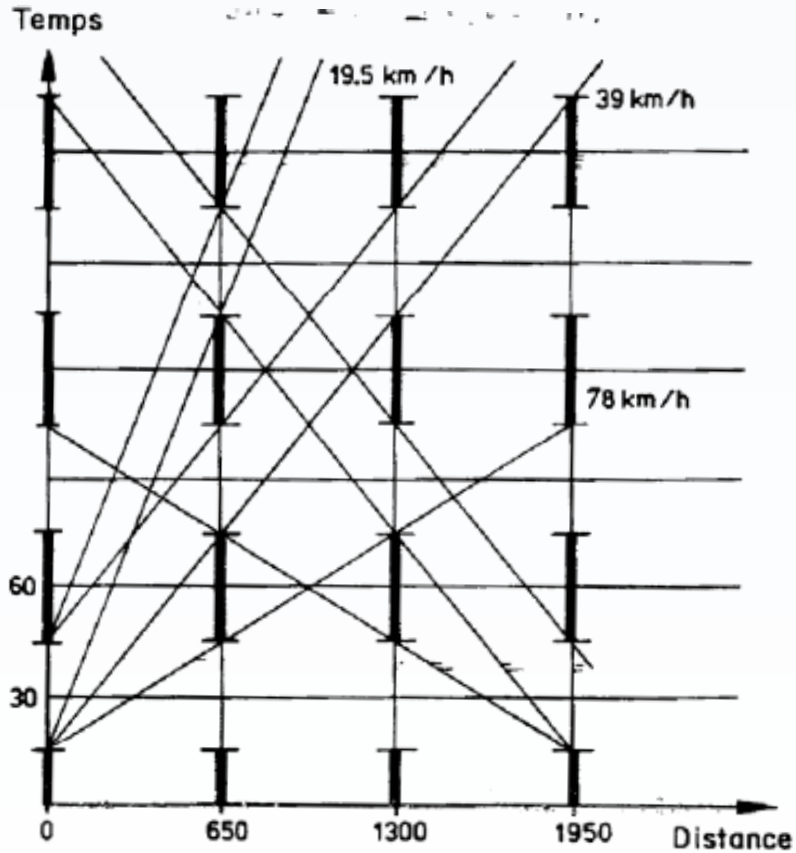
Enfin, on a parfois recours à la synchronisation non-décalée ($\theta_i = 0$), **système simultané**, d'un réseau en entier (p.ex. New York).

<https://youtu.be/0giNAJZgOdM?t=52s>

Cette approche est préférable pour la coordination complète des réseaux larges, à blocs réguliers, et très achalandés (synchronisation des quatre approches sur un territoire vaste).

Système simultané

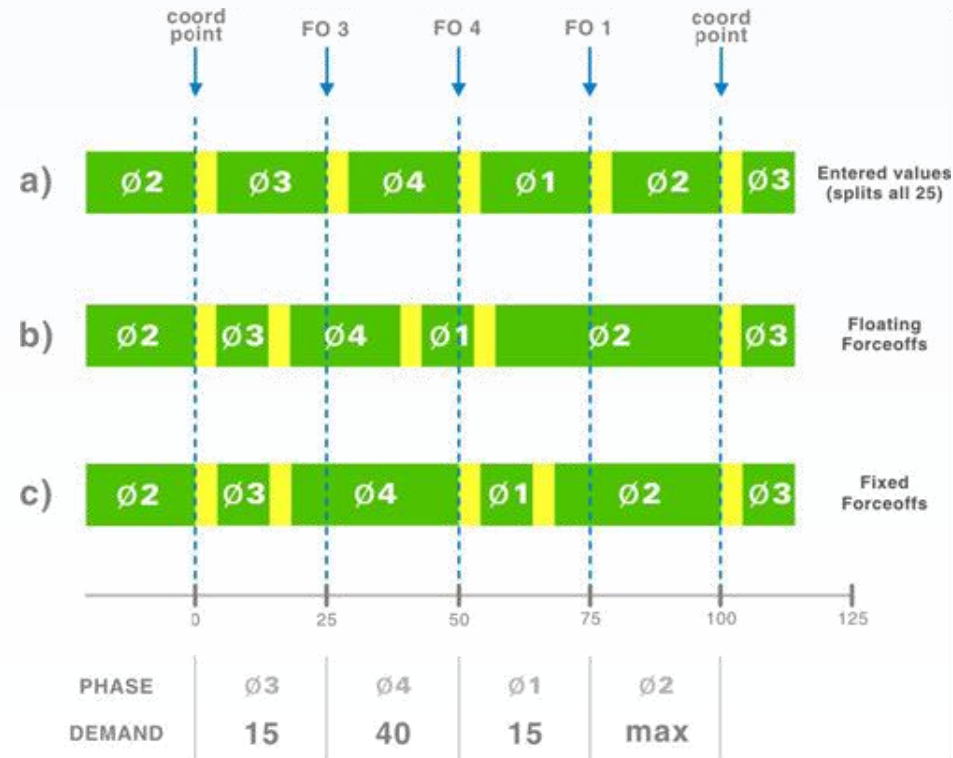
Système alterne



STRATEGIES AVEC FEUX ADAPTATIFS

La **fonctionnalité « forceoff »** de certains contrôleurs permet une coordination limitée avec certains feux adaptatifs.

- Essentiellement une contrainte additionnelle sur les temps d'extensions, mais la durée du cycle demeure inchangé.



C'est tout pour aujourd'hui!