Nord Picardie

Centre d'Études Techniques de l'Équipement

pour comprendre le présent et construire un avenir durable

European Transport Conference
10-12 octobre 2011

MINT

Proposition d'un algorithme d'affectation en transport collectifs basé sur les fréquences

Patrick Palmier – CETE Nord-Picardie - France

L'algorithme Mint (MINimum maximum Time)

- Historique
- Limites des stratégies optimales
- Les principes de Mint sur un exemple
- Traitement des liens piétons
- Résultats sur un réseau test
- Mint sur des réseaux réels
- Impacts sur les horaires
- Réflexions sur la mise en œuvre informatique de l'algorithme

L'algorithme de stratégies optimales

- Introduit par Spiess – Florian en 1989
  - Mise en œuvre initiale dans Emme
- L'algorithme se déroule en deux temps
  - On part de la destination et on détermine les lignes attractives en remontant vers l'origine
  - On répartit successivement la demande au prorata des fréquences des lignes attractives
- Plusieurs limites sont identifiées
  - Un nouvel algorithme de stratégies optimales avec variantes a été introduit récemment dans Emme
    - Répartition basée sur la fréquences et le temps de parcours à destination
    - Un modèle logit de choix de stratégies

Les limites des stratégies optimales (L1)

t=20min

Line 1
hdw=12 min — V= 0.71

t=20 min

Line 2
hdw=30 min — V= 0.29

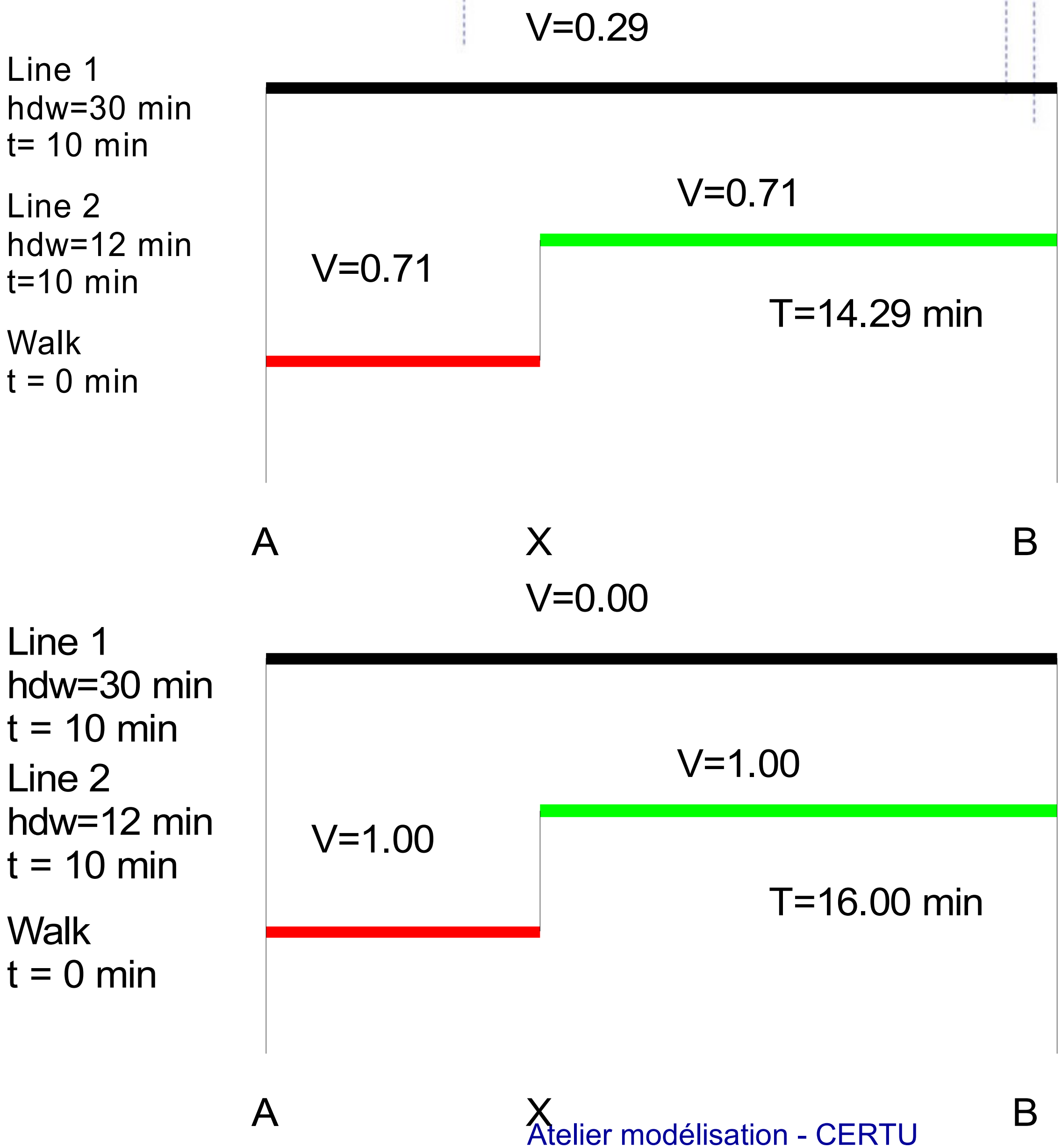
t=20min

Line 1
hdw=12 min — V= 0.71

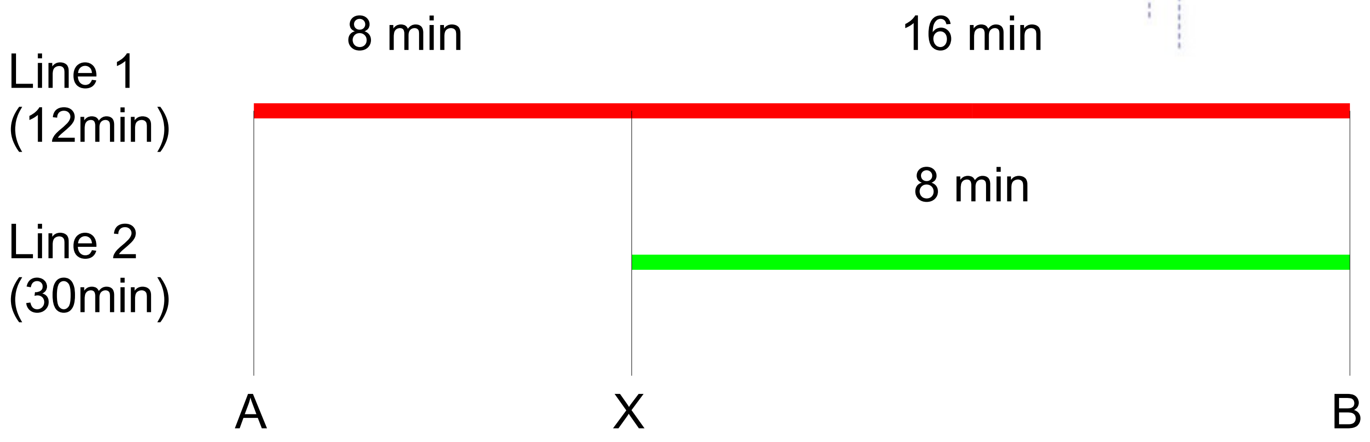
t=15min

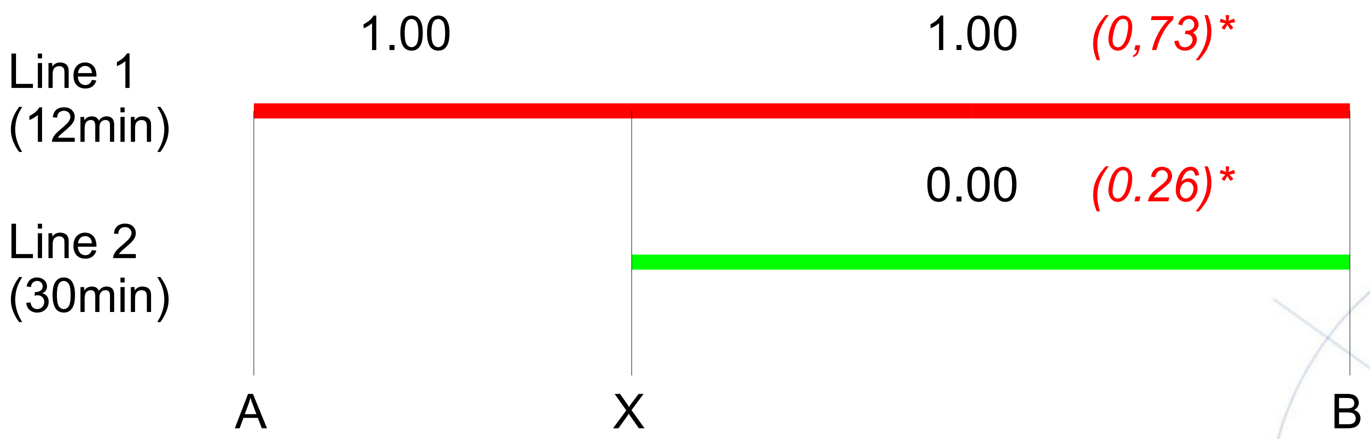
Line 2
hdw=30 min — V= 0.29

Les limites des stratégies optimales (L2)



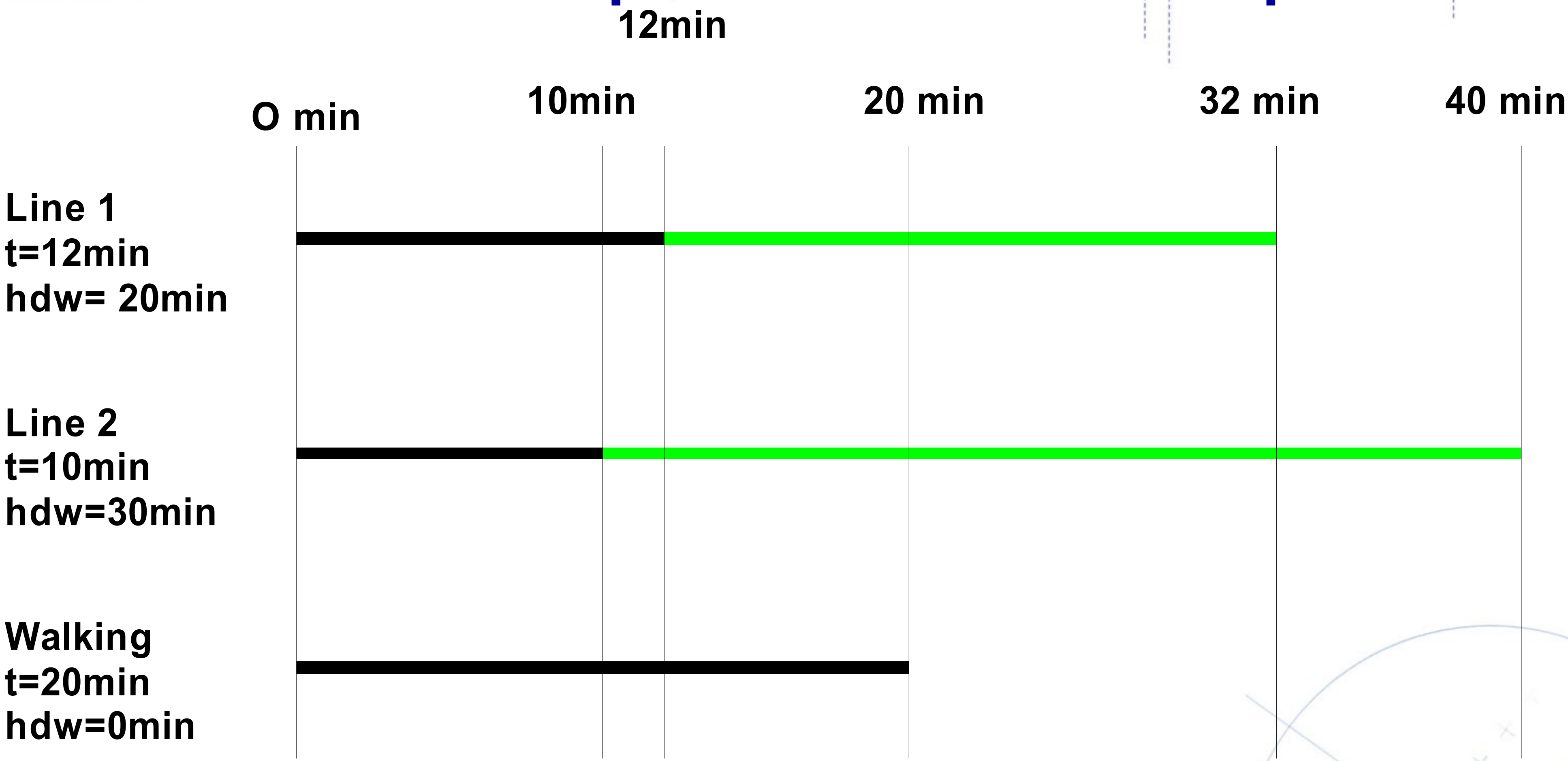
Les limites des stratégies optimales (L3)





* :Résultat de Mint

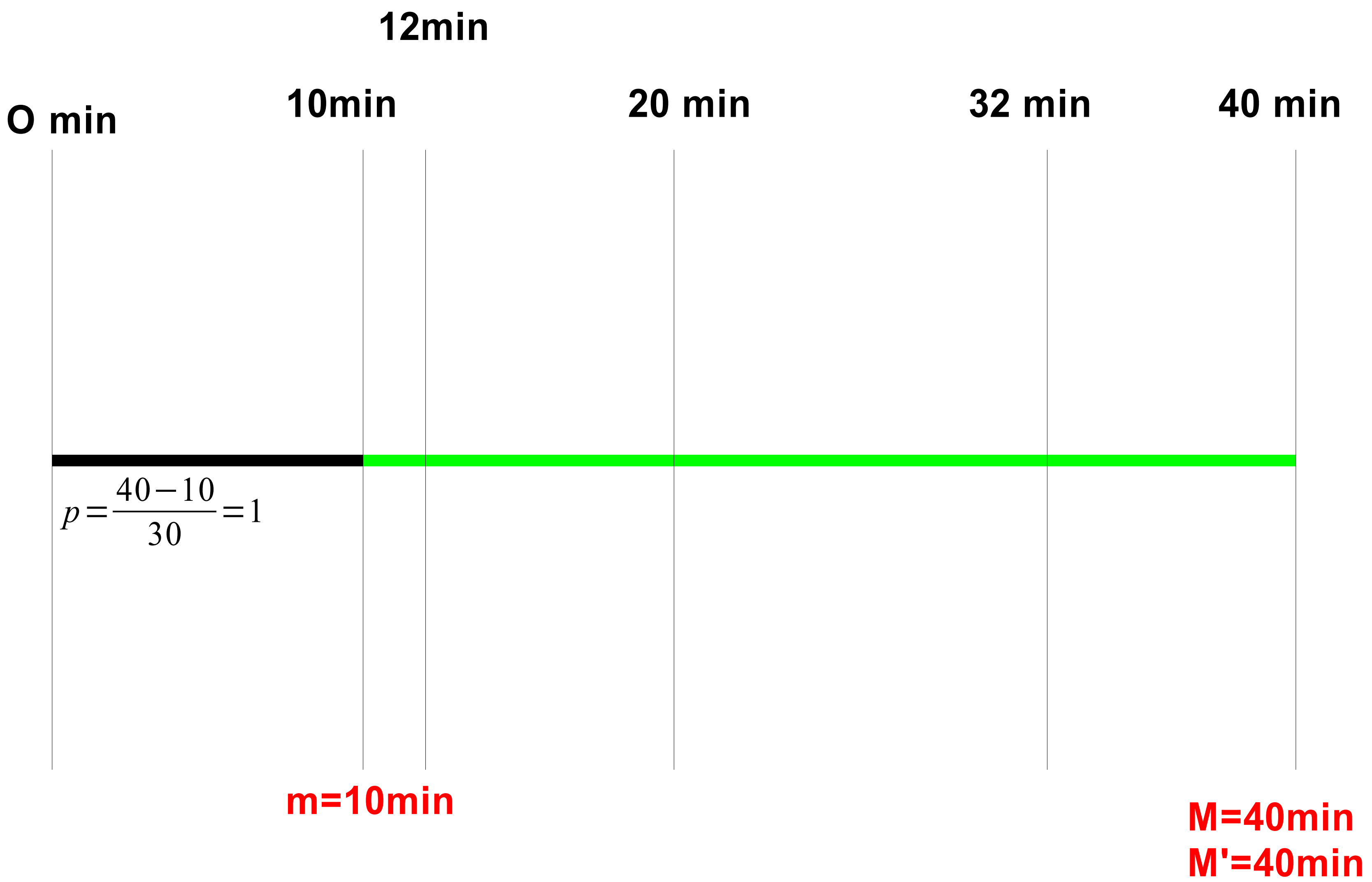
Les principes de Mint
exemple sur un réseau simple



Exemple sur un réseau simple

- On prend en compte la ligne avec le plus petit temps de parcours
  - Ligne 2 avec 10 minutes

Étape 1



Line 2
t=10min
hdw=30min

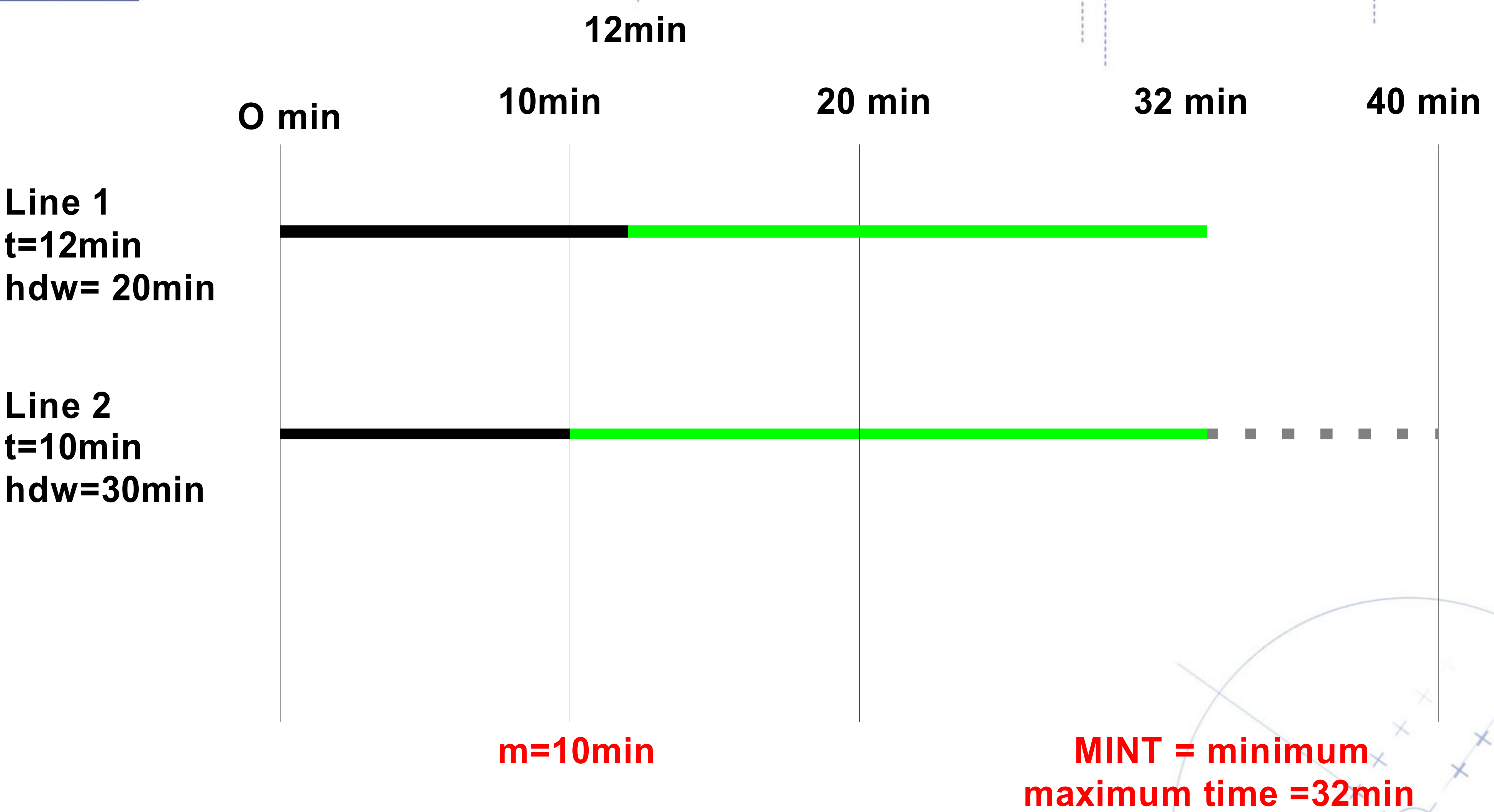
$$p=\frac{40-10}{30}=1$$

$$T=1.\frac{10+40}{2}=25\,min$$

Calcul de M
(MINimum maximum Time)

- On prend la ligne suivante avec le plus petit temps de parcours
  - C'est la ligne1, dont le temps de parcours de 12 minutes est inférieur au temps maximum minimum actuel
    (M = 40 min) : La ligne 1 est attractive.
- Ensuite, on recalcule la nouvelle valeur de M (MINnimum maximum Time)
  - M = 32 minutes (minimum de 32 et 40)
  - Principe: Si le temps de parcours escompté avec la ligne 2 est supérieur à 32 minutes, les usagers préfèrent utiliser la ligne 1 qui garantit un temps de parcours de 32 minutes maximum

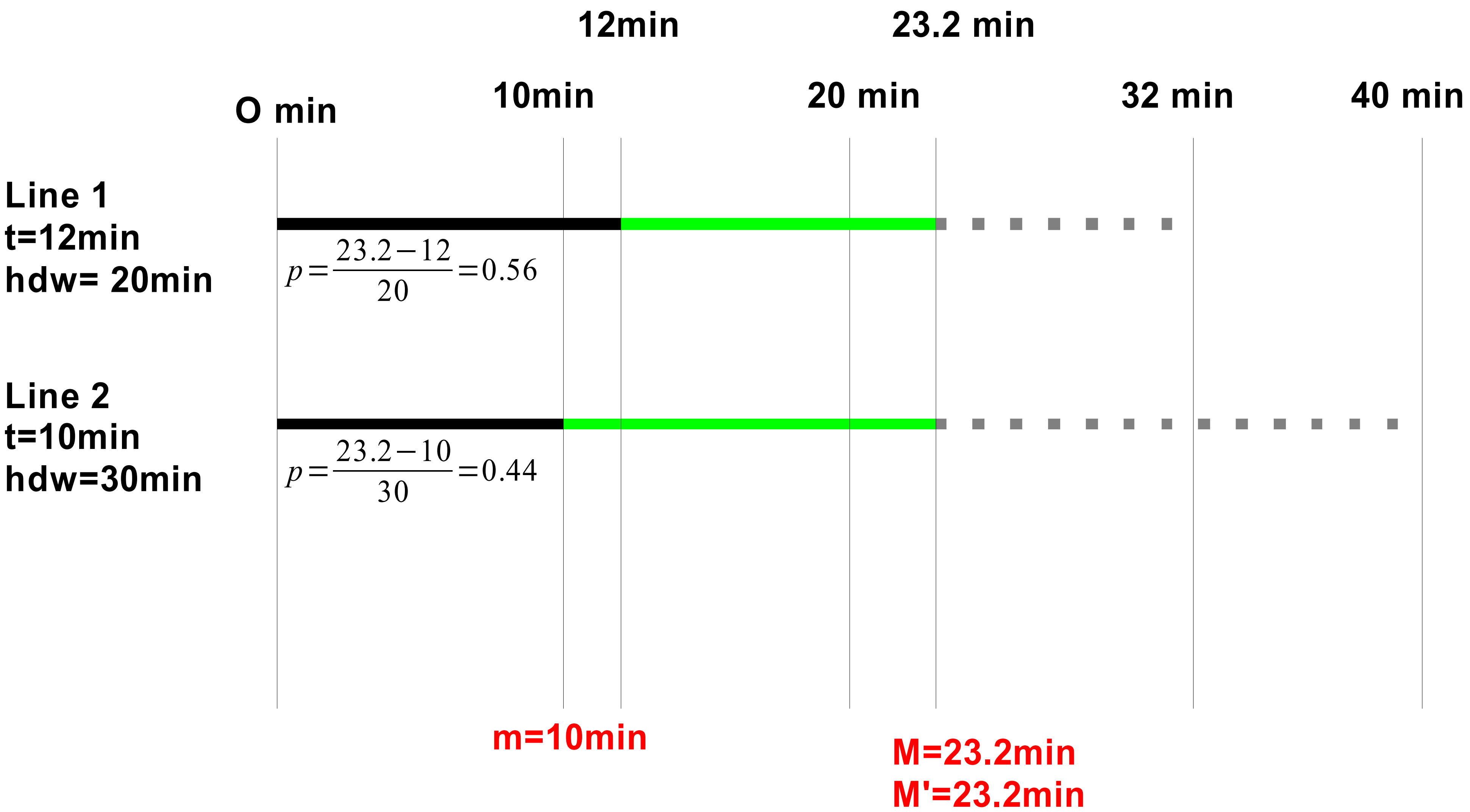
Étape 2


12min
O min
10min
20 min
32 min
40 min
Line 1
t=12min
hdw= 20min
Line 2
t=10min
hdw=30min
m=10min
MINT = minimum
maximum time =32min

Combinaison des deux lignes

- Line 1 : La somme des temps d'attente attractifs est de 60 minutes (32-12)x3=20x3 véhicules
- Line 2 : La somme des temps d'attente attractifs est de 44 minutes (32-10)x2=22x2 véhicules , car si le temps de parcours attendu en utilisant la ligne 2 est supérieur à 32 minutes, les usagers choisirons la ligne1
- Temps total d'attente = 60 + 44 = 104 minutes
  - Le temps total d'attente dans une heure ne peut excéder 60 minutes
  - Il y a 44 minutes de surplus
- L'hypothèse principale de Mint consiste à dégrever le même temps d'attente en surplus à chaque intervalle inter-véhiculaire, c'est à dire 44 / 5 = 8.8 minutes par véhicule
  - M (combinant les 2 lignes) = 32 – 8.8= 23.2 minutes

Étape 3



$$T=0.56.\frac{10+23.2}{2}+0.44.\frac{12+23.2}{2}=17.04\,min$$

Calcul des volumes et du temps de parcours total moyen

- Calcul des volumes

$$p_i = \frac{M - t_i}{hdw_i}$$

M : *Minimum maximum time* (*MINT*)

t_i : *temps de parcours minimum sur la ligne i*

hdw_i : *headway de la ligne i*

p_i : *proportion de la demande sur la ligne i*

- Temps de parcours total moyen

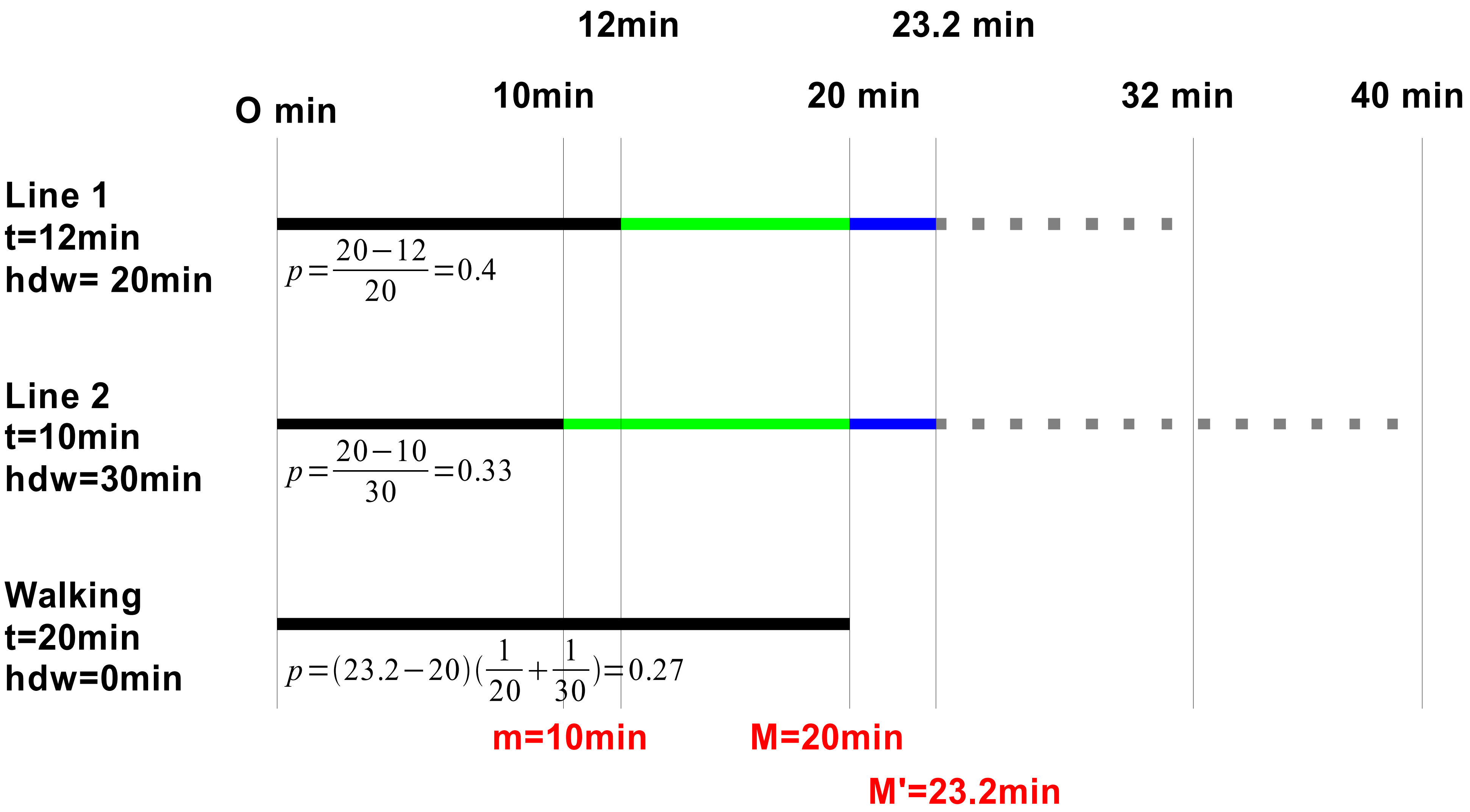
$$T = \frac{1}{2} \sum_{i \in S} p_i (m_i + M)$$

T = *temps de parcours total moyen*

p_i = *proportion de la demande sur la ligne i*

S = *ensemble des lignes attractives*

Étape 4



$$T=0.4.\frac{10+20}{2}+0.33.\frac{12+20}{2}+0.27.\frac{20+20}{2}=16.68\,min$$

Stratégies marche à pied

- Un lien piéton est équivalent à une ligne de TC à fréquence infinie
  - Calcul des volumes
    - $$\frac{M-t}{hdw}=\frac{20-20}{0}=\frac{0}{0}=\ \textit{non défini}$$
    - On suppose une ligne i with $hdw=\epsilon \quad with \quad \epsilon \rightarrow 0$
    - $$\lim_{\epsilon \rightarrow 0} p_i(\epsilon)=\frac{M_\epsilon-\mu}{\epsilon} \rightarrow 1-\sum_{k\in S-\{i\}}\frac{M-\mu_k}{hdw_k}=(M-M')(\sum_{k\in S-\{i\}}\frac{1}{hdw_k})\ \textit{où}\ hdw_k\neq 0$$

Prise en compte des liens piétons

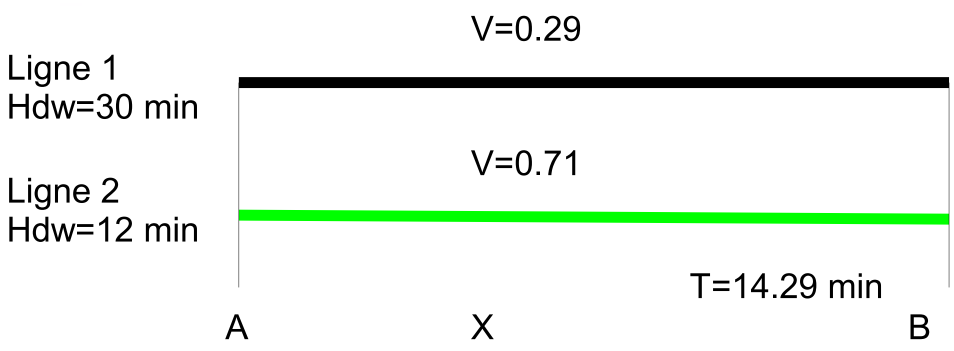
- Les liens piétons peuvent être traités de deux manières:
  - Type 1: de manière spécifique.
    - Cela revient à considérer les deux réseaux ci-dessous équivalents

$$L'_1(t=21, Hdw=10) = L_1(t=15, hdw=10) + P(t=6)$$

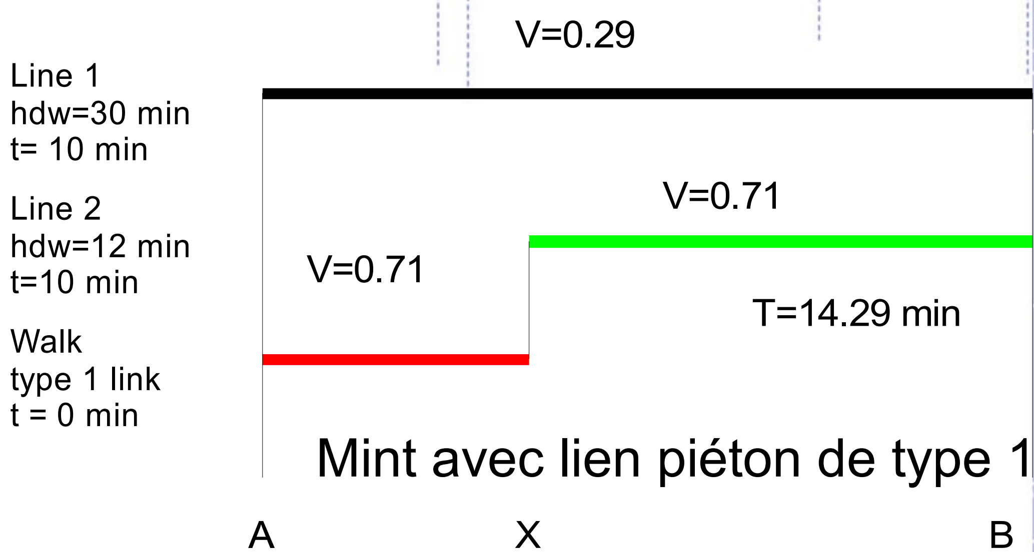
$$L_{1,} L'_1 \; are\ transit\ lines\ \ P\ walk\ link$$

  - Type 2:de la même façon que les autres lignes TC:
    - Cette méthode prend en compte le lien piéton comme une ligne TC de hdw=ε avec ε → 0

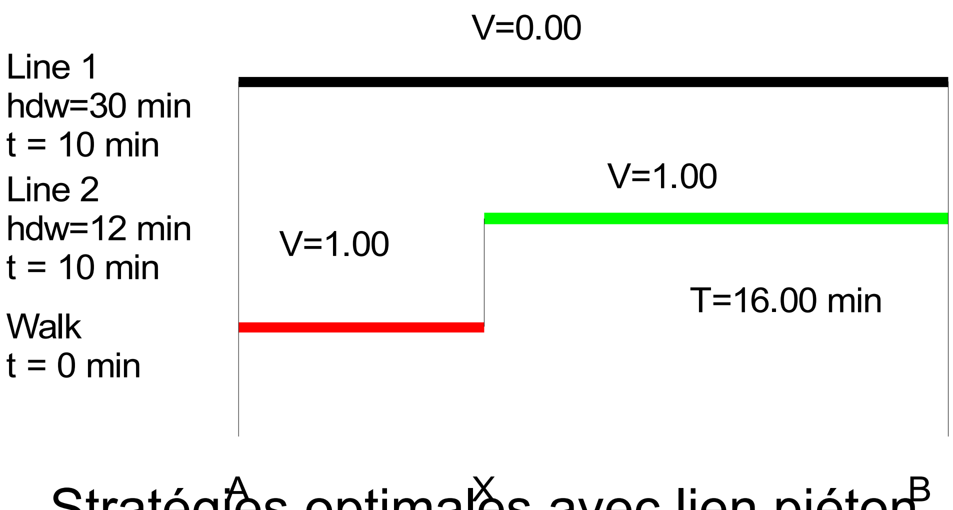
Prise en compte de liens piétons dans Mint



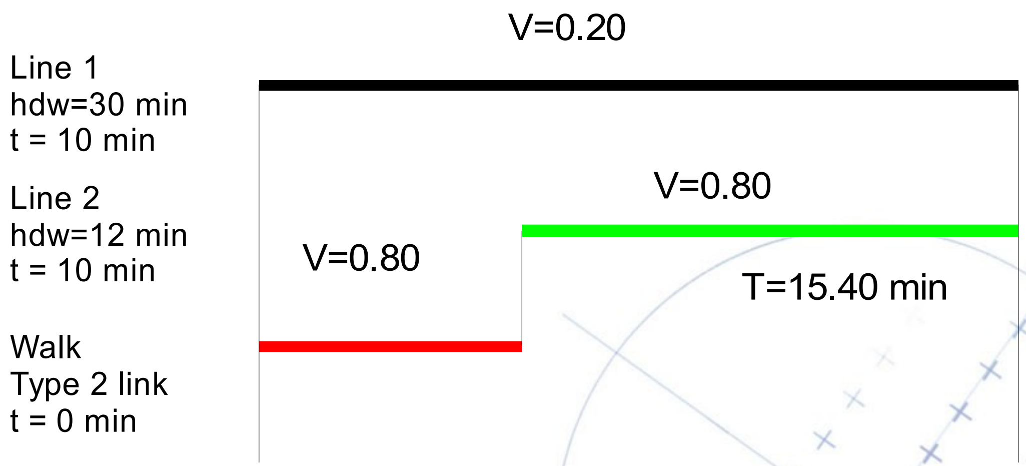
stratégies optimales sans lien piéton



Mint avec lien piéton de type 1

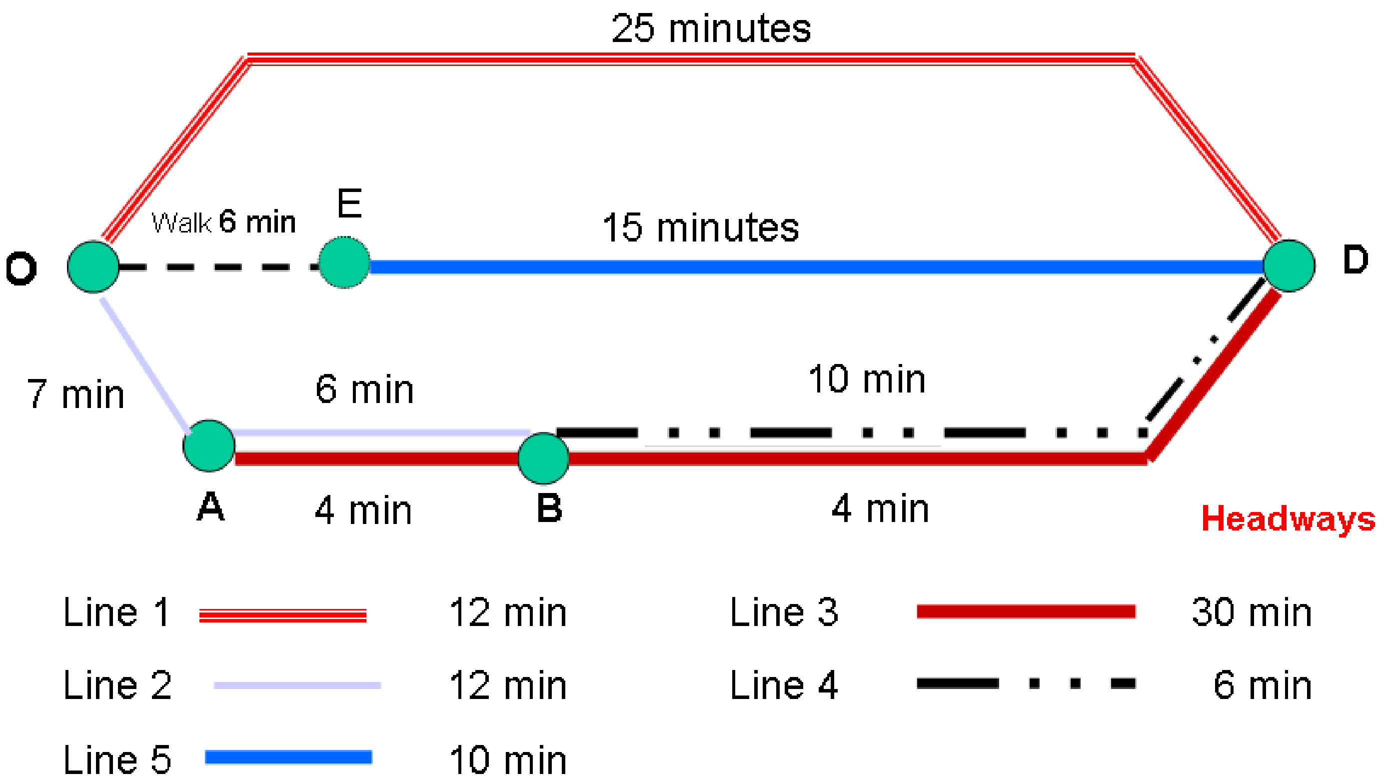


Stratégies optimales avec lien piéton

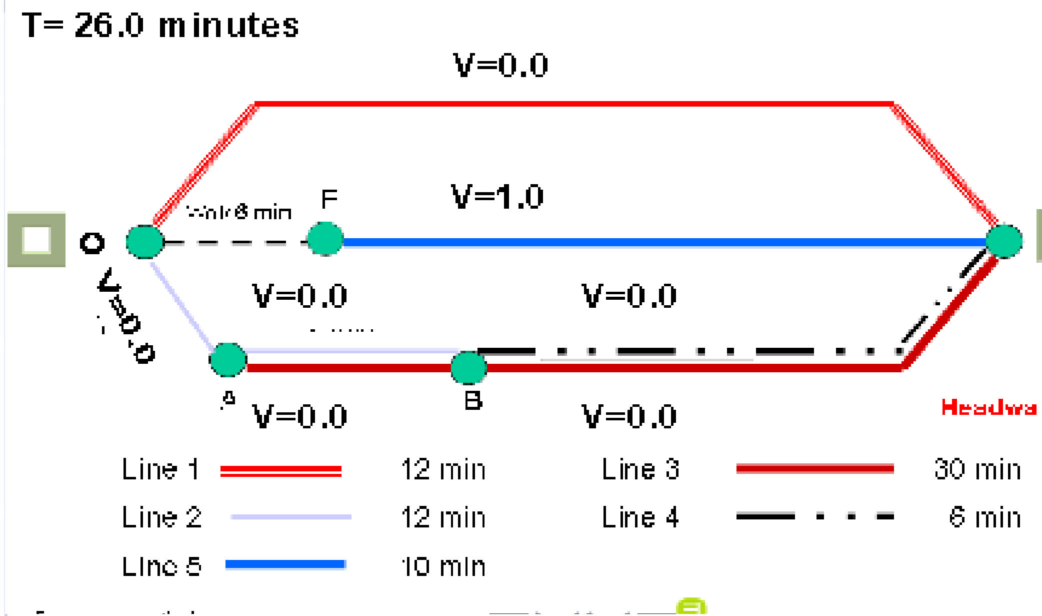


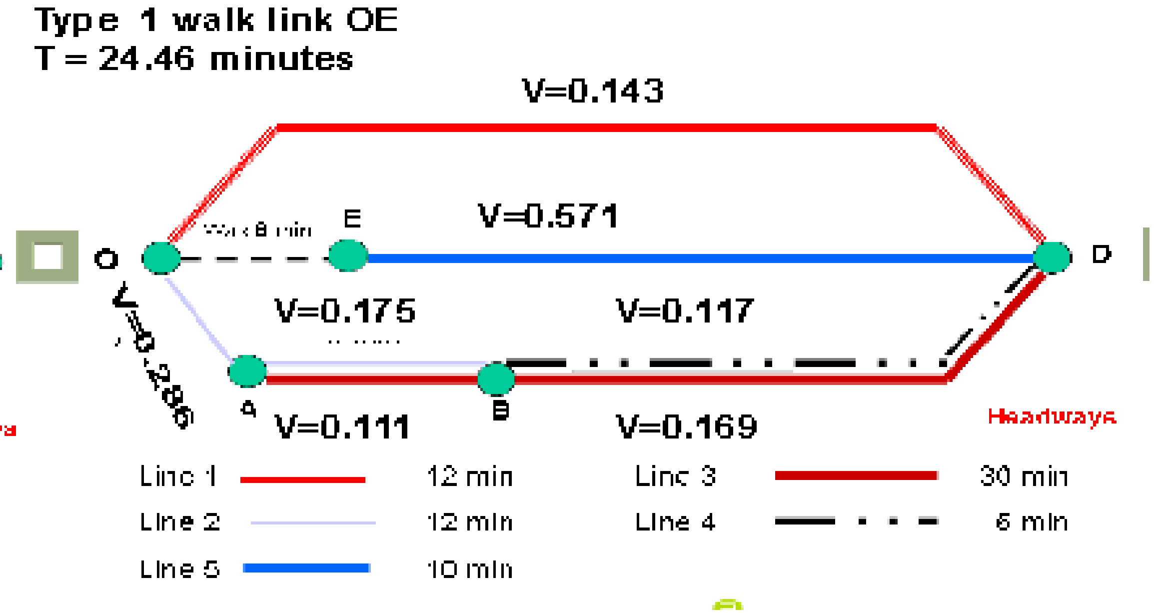
Mint avec lien piéton de type 2

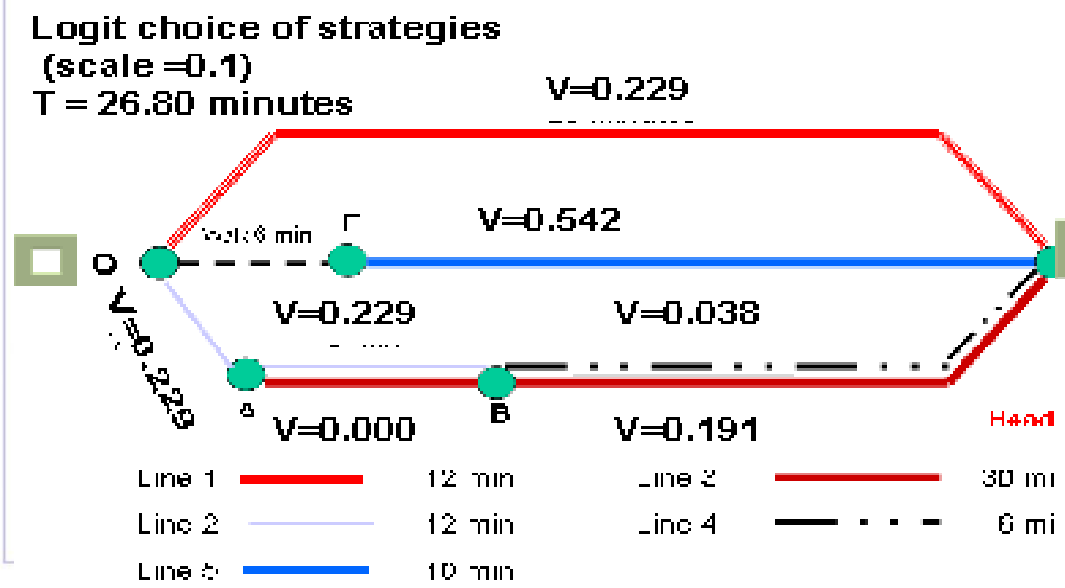
Application sur un réseau test

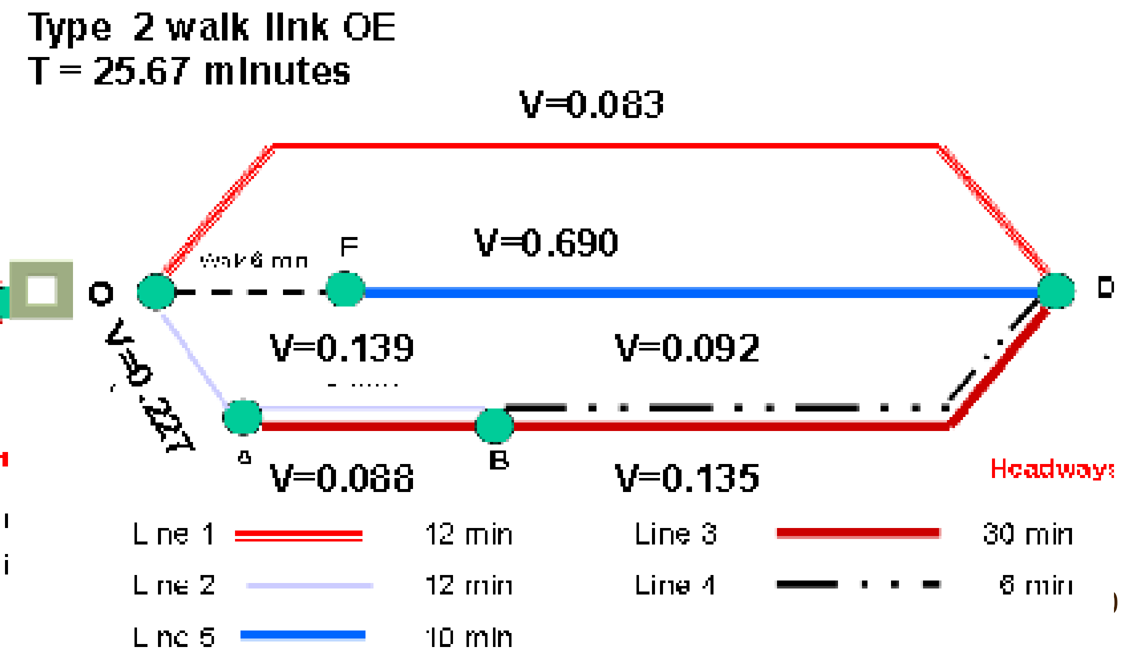


Quelques résultats



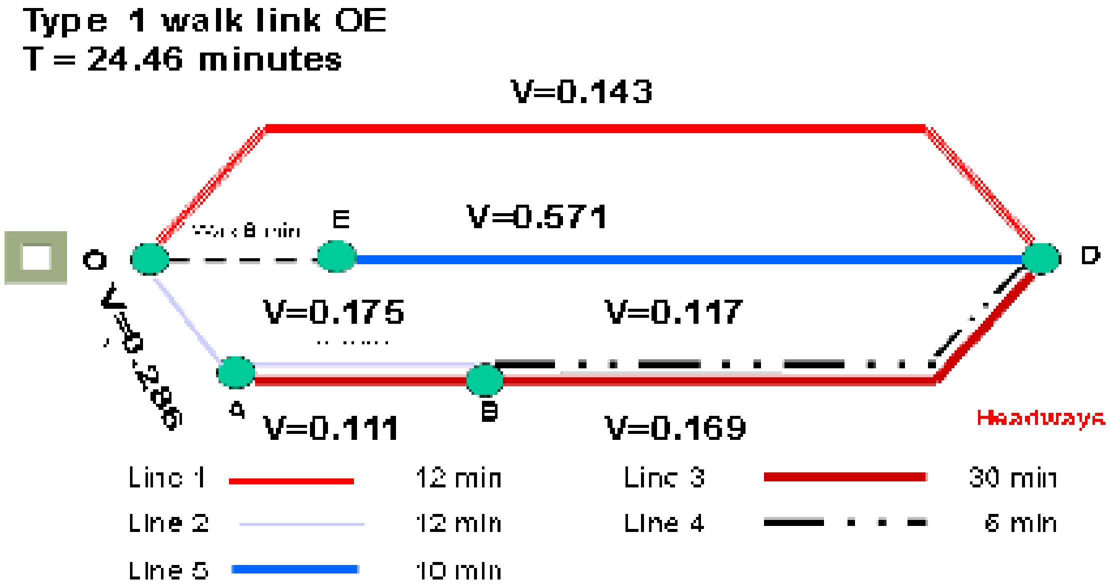




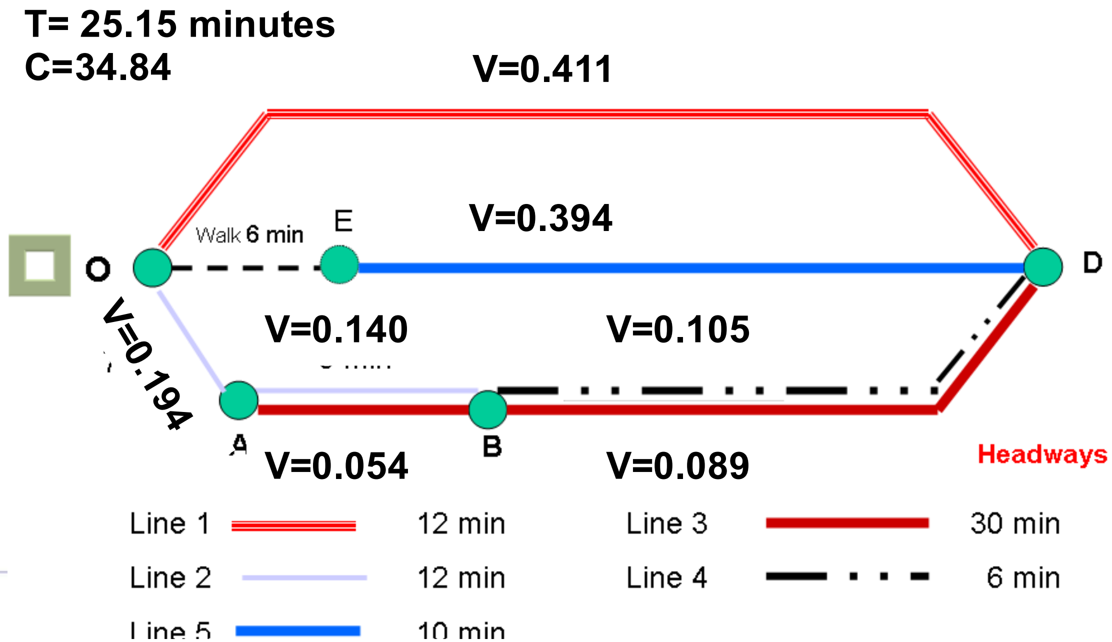


Prise en compte du temps généralisé

- Temps de parcours seul
  - Poids marche: 1
  - Poids attente: 1
  - Temps de correspondance: 0 min
  - Poids correspondance: 1



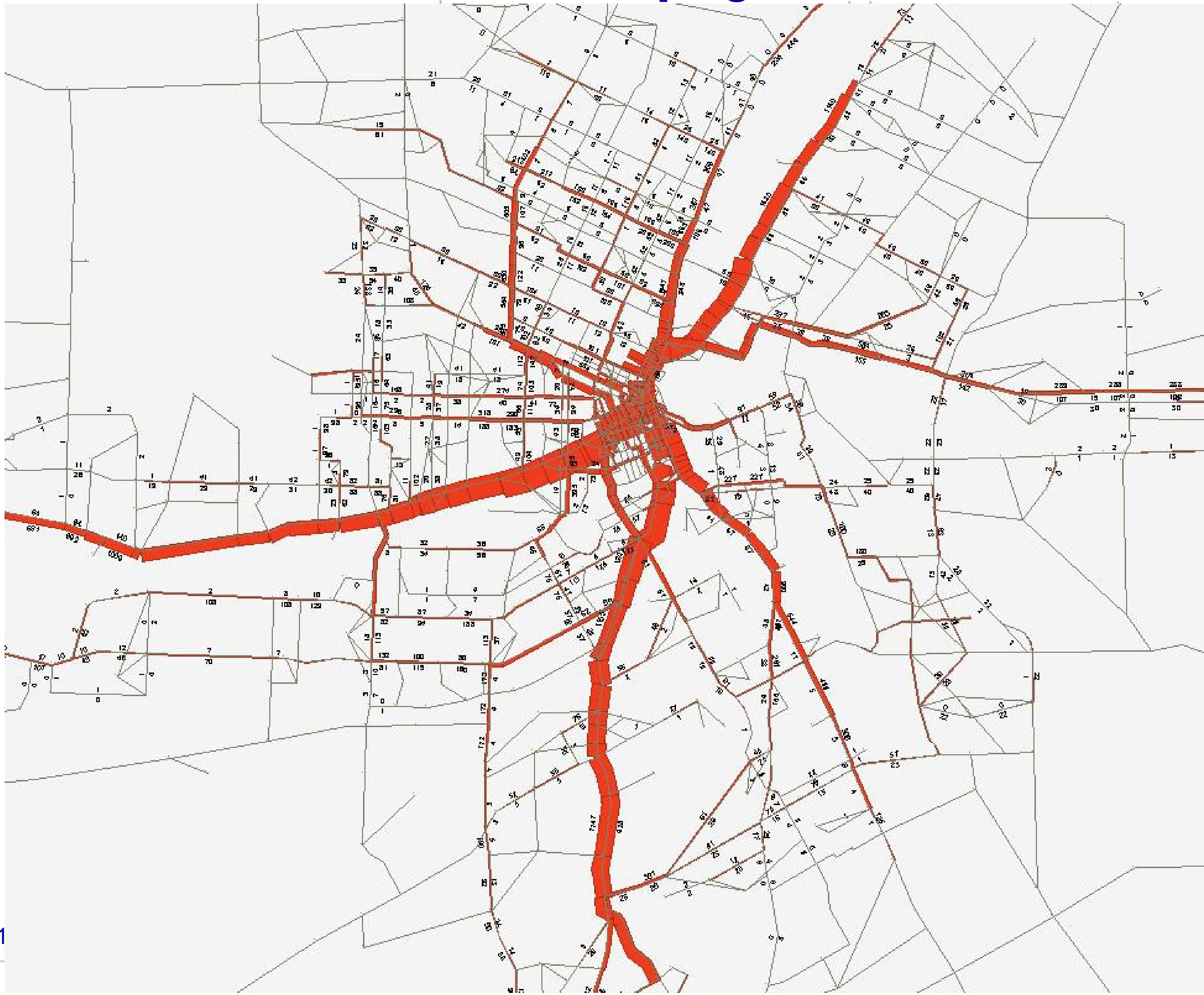
- Temps généralisé
  - Poids marche: 2
  - Poids attente: 2
  - Temps de correspondance: 2 min
  - Poids correspondance: 2



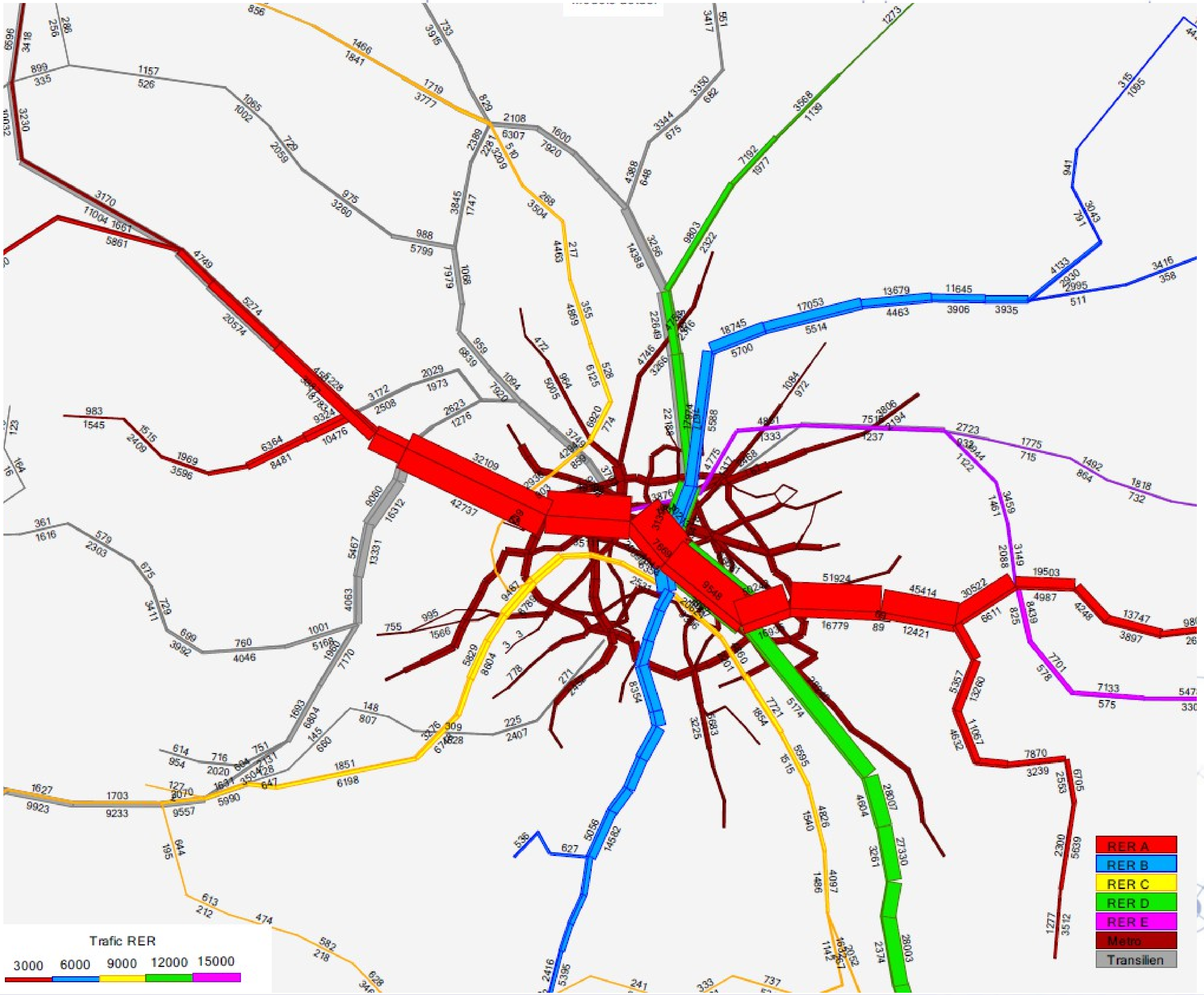
Application de Mint sur des réseaux réels

- Réseau démo Emme sur Winnipeg
  - 154 zones
  - 900 nœuds
  - 3000 liens
- Réseau DRIEA sur la Région Ile de France
  - 1293 zones
  - 17404 nœuds
  - 60358 liens
  - 4577 lignes TC
  - 71279 segments de lignes

Winnipeg



Paris (modes ferrés)



Impacts sur les horaires

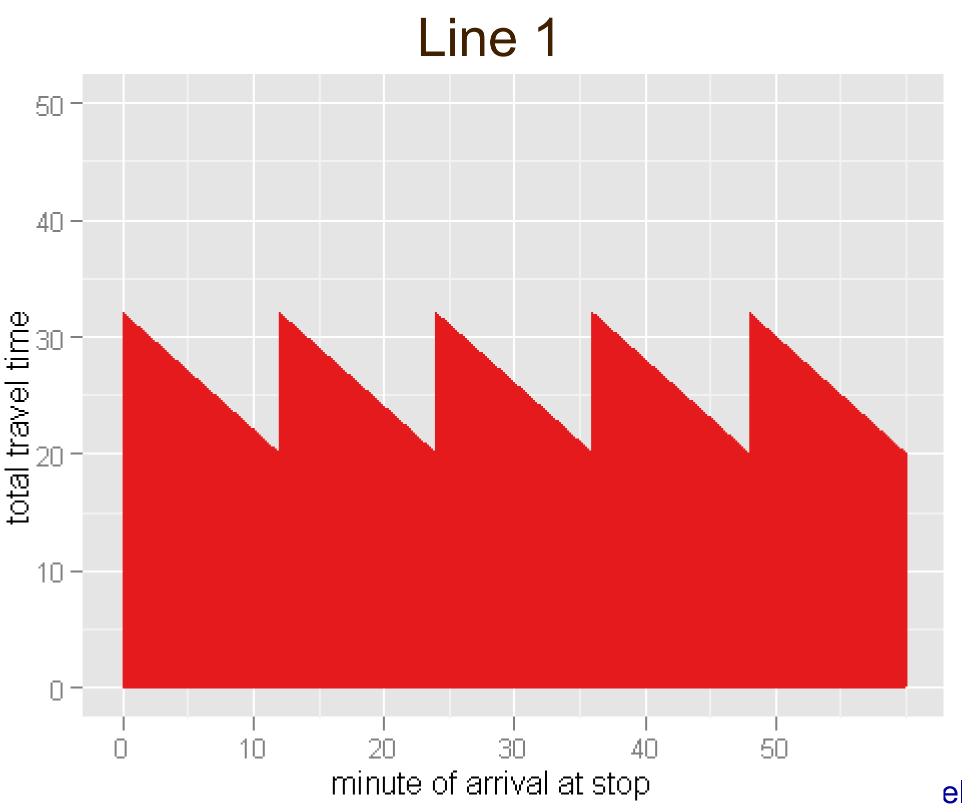
- Les intervalles inter-véhiculaires sont supposés constants

t=20min, hdw=12min

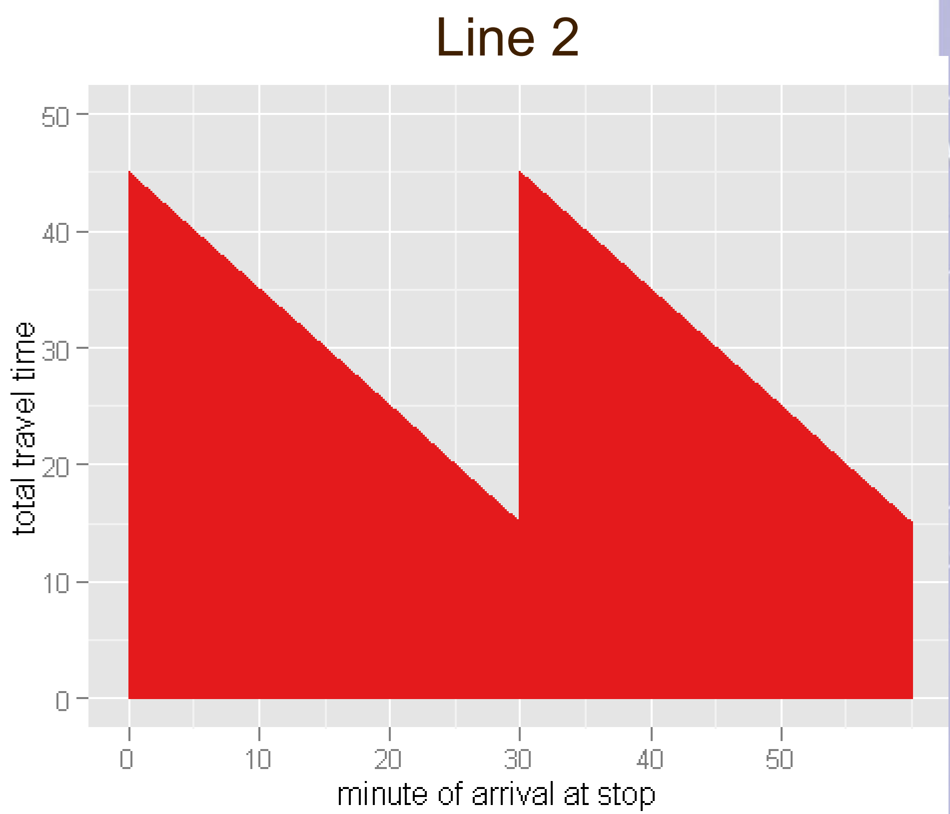
Ligne 1

t=15min, hdw=30min

Ligne 2



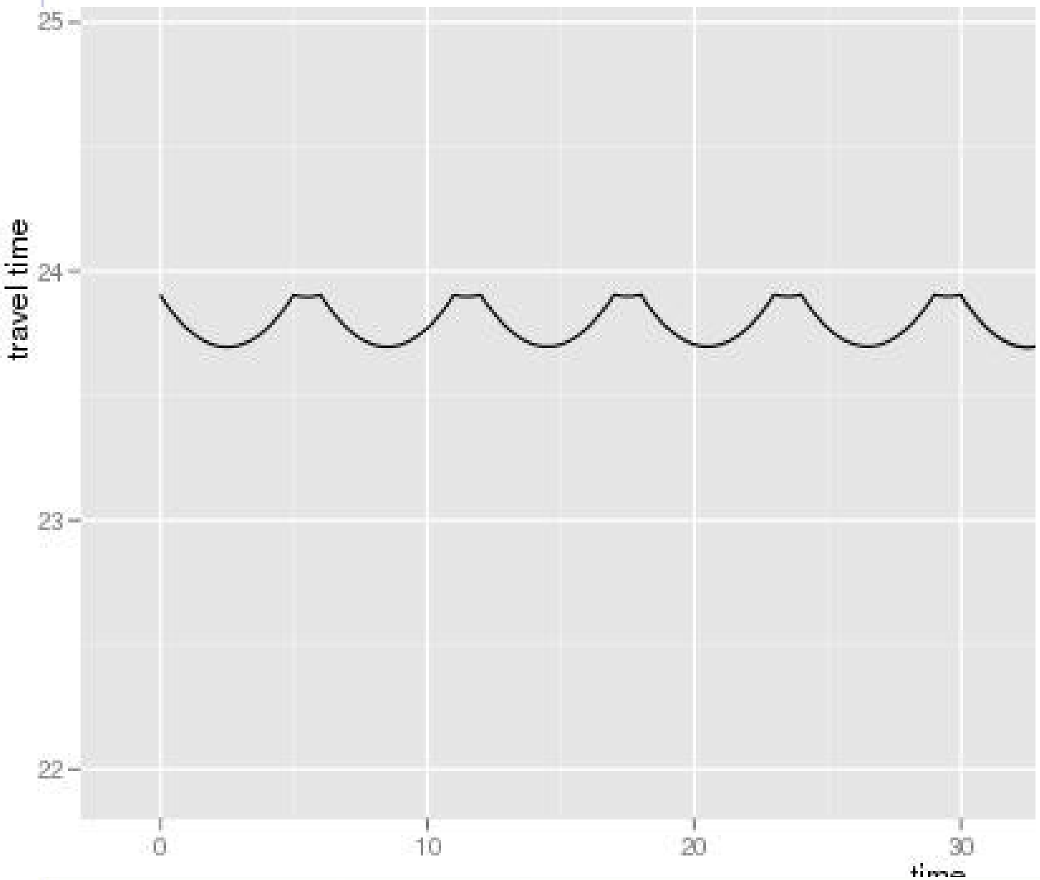
elier mo



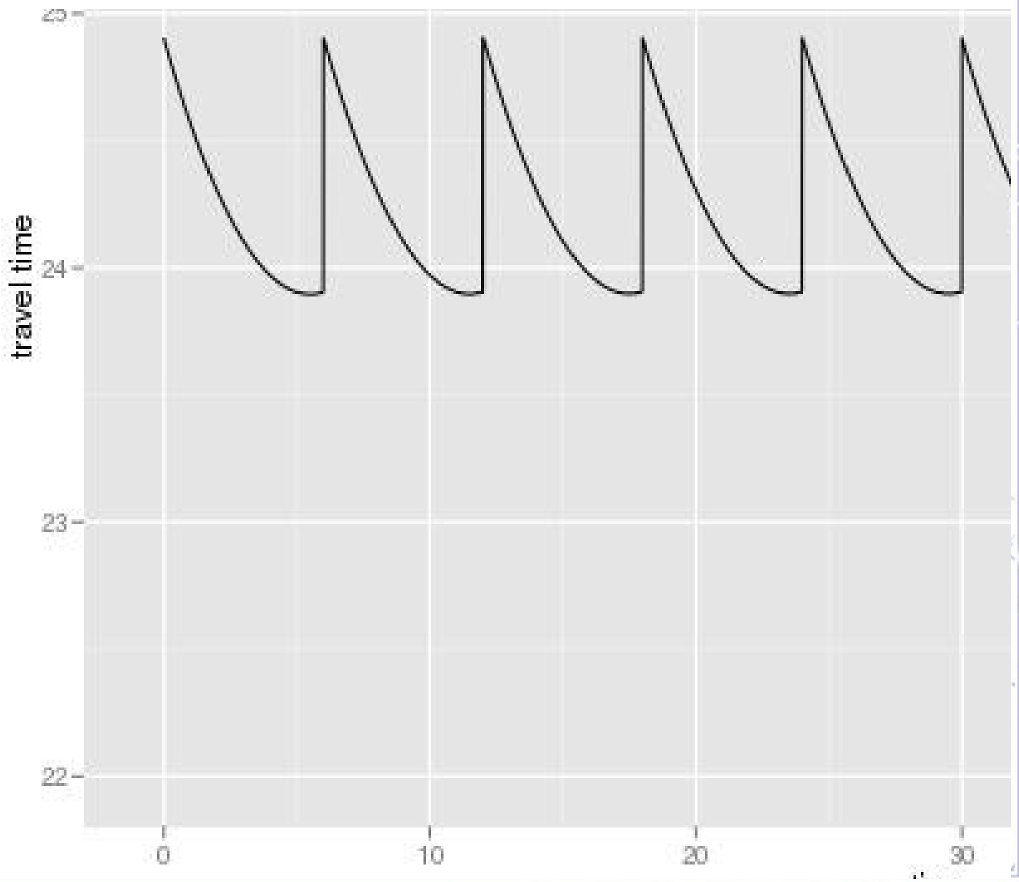
Combinaison des deux lignes
Intervalles inter-véhiculaires constants

- Ligne 1 : 0,12,24,36,48
- Ligne 2: x,30+x où x varie entre 0 et 30

Stratégie temps minimum



Stratégie premier véhicule



Intervalles inter-véhiculaires constants pour chaque ligne

- Résultats de la simulation
  - Stratégie premier véhicule
    - Min:23.89 min Max : 24.91 min Moy:24.21 min
  - Stratégie temps minimum :
    - Min : 23.69 min Max : 23.91 min Moy:23.79 min
- Pour rappel, les valeurs déterminées par les deux algorithmes:
  - Stratégies optimales: 22.86 minutes
  - Mint : 22.56 minutes
- Conclusion
  - Les temps de parcours totaux moyens déterminés par la méthode des stratégies optimales et Mint sont inférieurs à ceux de la simulation
  - Les intervalles inter-véhiculaires **ne sont pas constants**
  - **La méthode des stratégies optimales et Mint sont basés sur des horaires implicites. Lesquels ?**

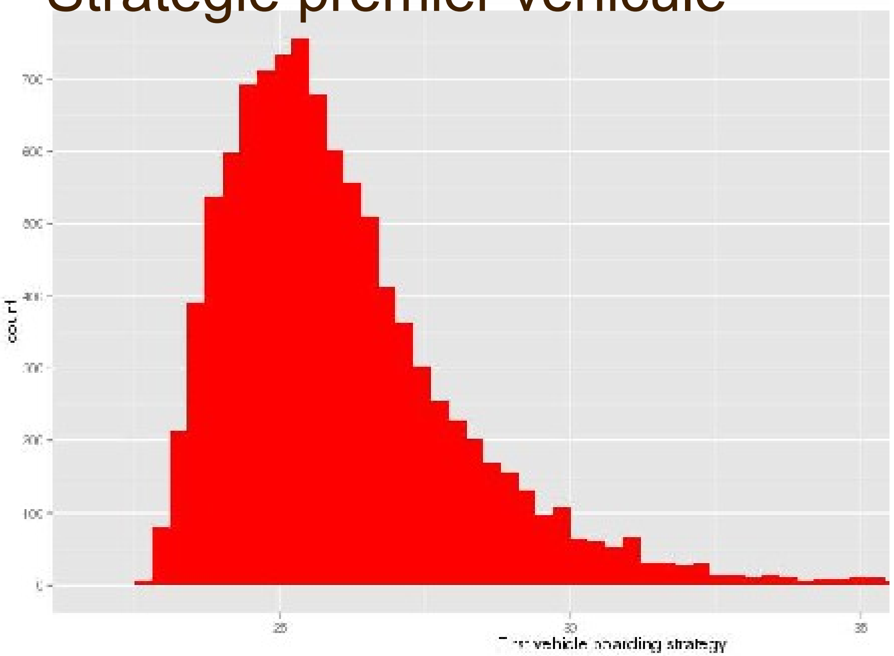
Horaires aléatoires

- Objectif: Étudier l'impact de la structure des horaires sur le temps de parcours total moyen
- Hypothèse: Nombre de passages horaire et temps de parcours constant sur chaque ligne.
- Simulations de Monte-Carlo
  - Génération de 10,000 horaires aléatoires pour chaque ligne
  - Analyse de la distribution des temps de parcours totaux moyens.

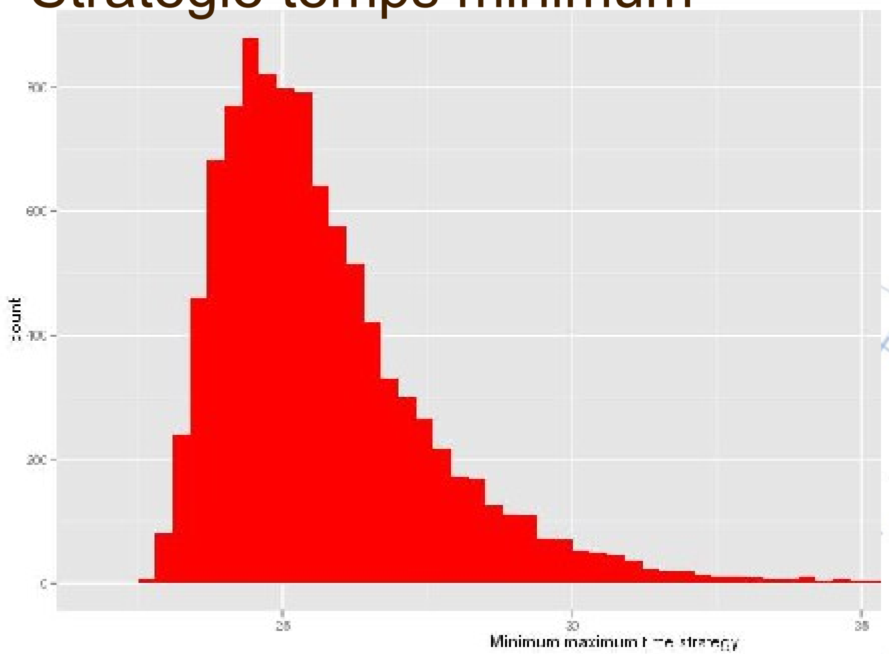
Résultats de horaires aléatoires

	Stratégie Premier véhicule	Stratégie temps minimum
Minimum:	22,63	22,63
Maximum:	38,83	39,52
Mean	25,74	26,07
Standard deviation:	1,91	2,09

Stratégie premier véhicule

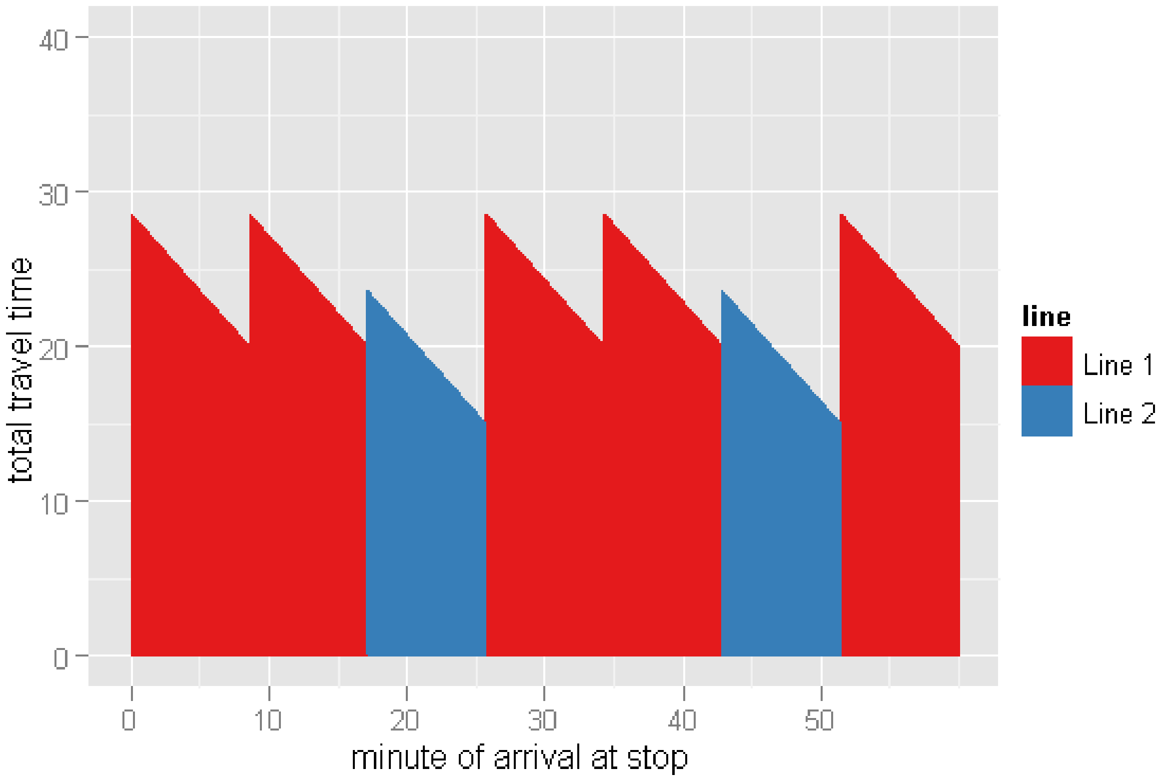


Stratégie temps minimum



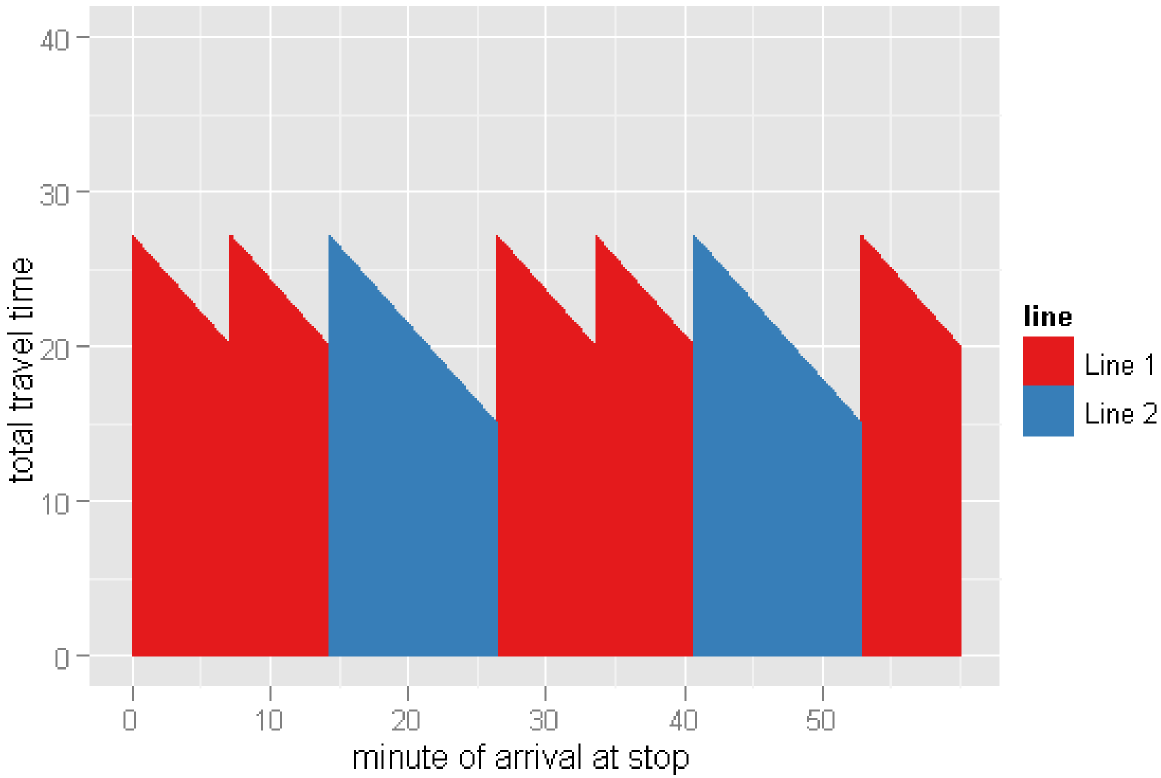
Horaires implicites stratégies optimales

MINUTES	LINE	TRAVEL_TIME
0.00	1	20
8.57	1	20
17.14	1	20
25.71	2	15
34.29	1	20
42.86	1	20
51.43	2	15

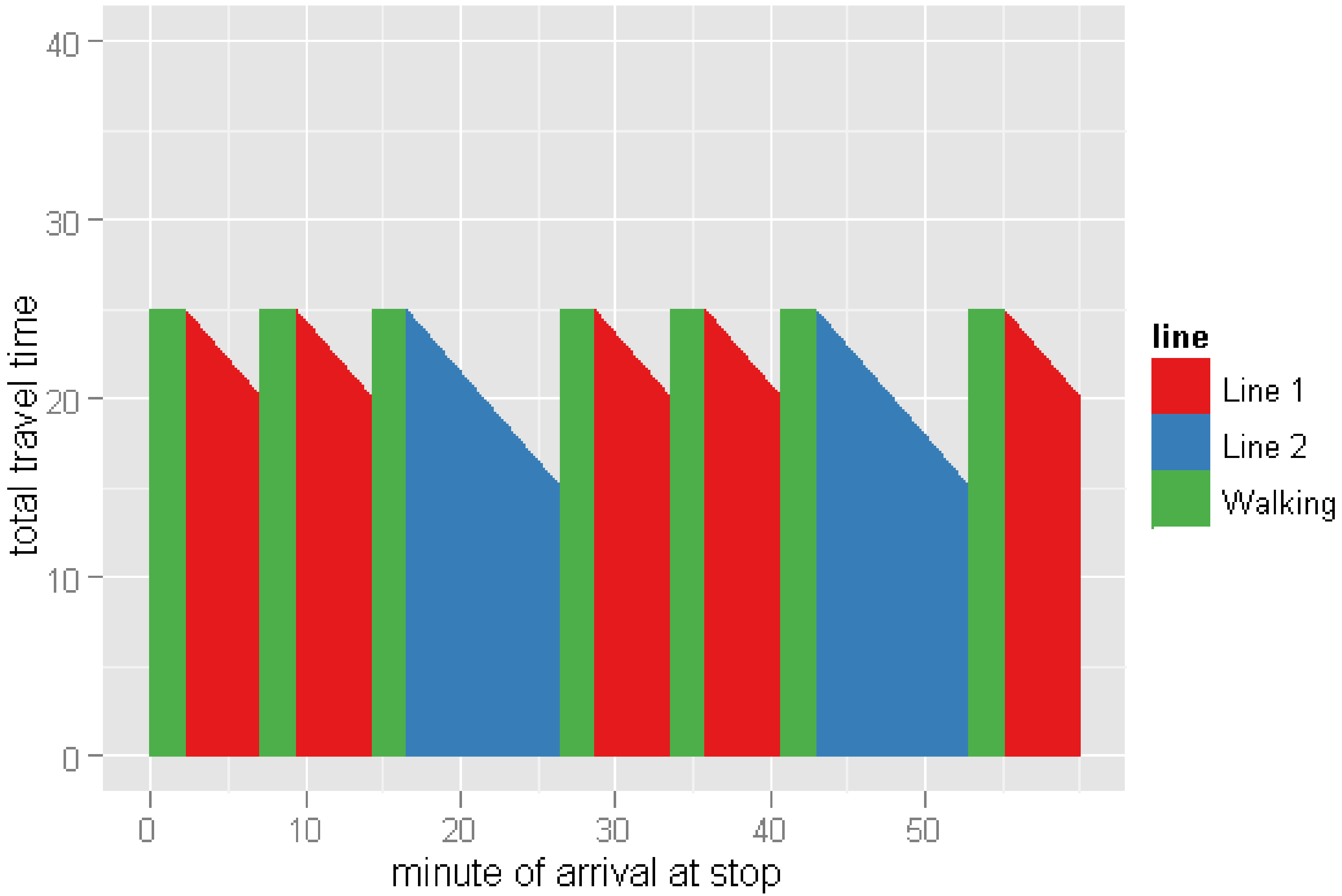


Horaires implicites Mint

MINUTES	LINE	TRAVEL TIME
0.00	1	20
7.14	1	20
14.29	1	20
26.43	2	15
33.57	1	20
40.71	1	20
52.86	2	15



Horaires Mint avec ajout d'une stratégie marche seule de 25 minutes



Conclusion sur les horaires

- Si les temps de parcours sur les lignes 1 et 2 sont différents, le temps toal moyen déterminépar la méthode des stratégies optimales n'est pas optimum.
- L'optimum du temps de parcours total moyen est donné par Mint, sur la base d'horaires implicites basés sur le principes d'égalité des temps maximum pour chaque intervalle.
- Perspectives
  - Un développement de Mint pour les réseaux à horaires

L'outil Mint

- Développé en C#
- Entrée: réseau et matrice (fichiers texte)
- Sortie: volumes, taux de correspondance, temps de parcours et temps généralisés (fichiers texte)

- Mise en oeuvre expérimentale avec Emme Modeller
  - Procédure d'import/export des réseaux et matrices
    - Permet de travailler facilement avec les banques Emme
    - Visualisation des résultats dans Emme
  - L'algorithme lui-même
    - Les temps de calcul du premier prototype sont trop long

Independence of strategies

- Il est indispensable de veiller à l'indépendance des stratégies entre elles

- Mint s'assure en combinant les différentes stratégies, de ne pas ajouter deux fois la même ligne, dans l'ensemble des lignes attractives, ce qui pourrait avoir pour conséquence de réduire le temps maximum minimum de manière artificielle et erronée

Problème des cycles

- Nécessité d'éliminer la possibilité de cycles dans la recherche des stratégies attractives
  - Problème:
    - De tels cycles peuvent artificiellement améliorer le temps de parcours de manière erronée et empêcher la convergence
  - Traitement dans Mint:
    - Un segment de ligne ou un lien piéton ne peut être pris en compte, que s'il n'appartient pas à l'ensemble des segments et liens constituant les stratégies déjà existantes.

Optimisation du calcul

- Dans Mint, plusieurs temps ou coûts interviennent dans l'optimisation
  - Les algorithmes de plus court chemins couramment utilisés, comme Dijsktra ne sont pas directement utilisables
    - Le temps d'un segement successeur peut être inférieur à celui du pivot, s'il est situé sur un tron commun
  - Mint utilise le “ graph growth algorithm with buckets”
- Avec Mint, le nombre de stratégies attractives augmente de façon importante
- Les temps de calculs pourraient être améliorés avec un meilleur code

Contraintes de capacité

- Avec Mint, la répartition de la demande s'effectue selon une fonction continue de la fréquence et du temps de parcours
  - Cette propriété devrait pouvoir améliorer la convergence d'un algorithme itératif de prise en compte des contraintes de capacité
- La méthode des fréquences effectives reste-elle pertinente avec Mint?
  - Peut-on utiliser des pénalités d'embarquement spécifiques à chaque ligne à la place?

Merci de votre attention