

Réseaux et lignes

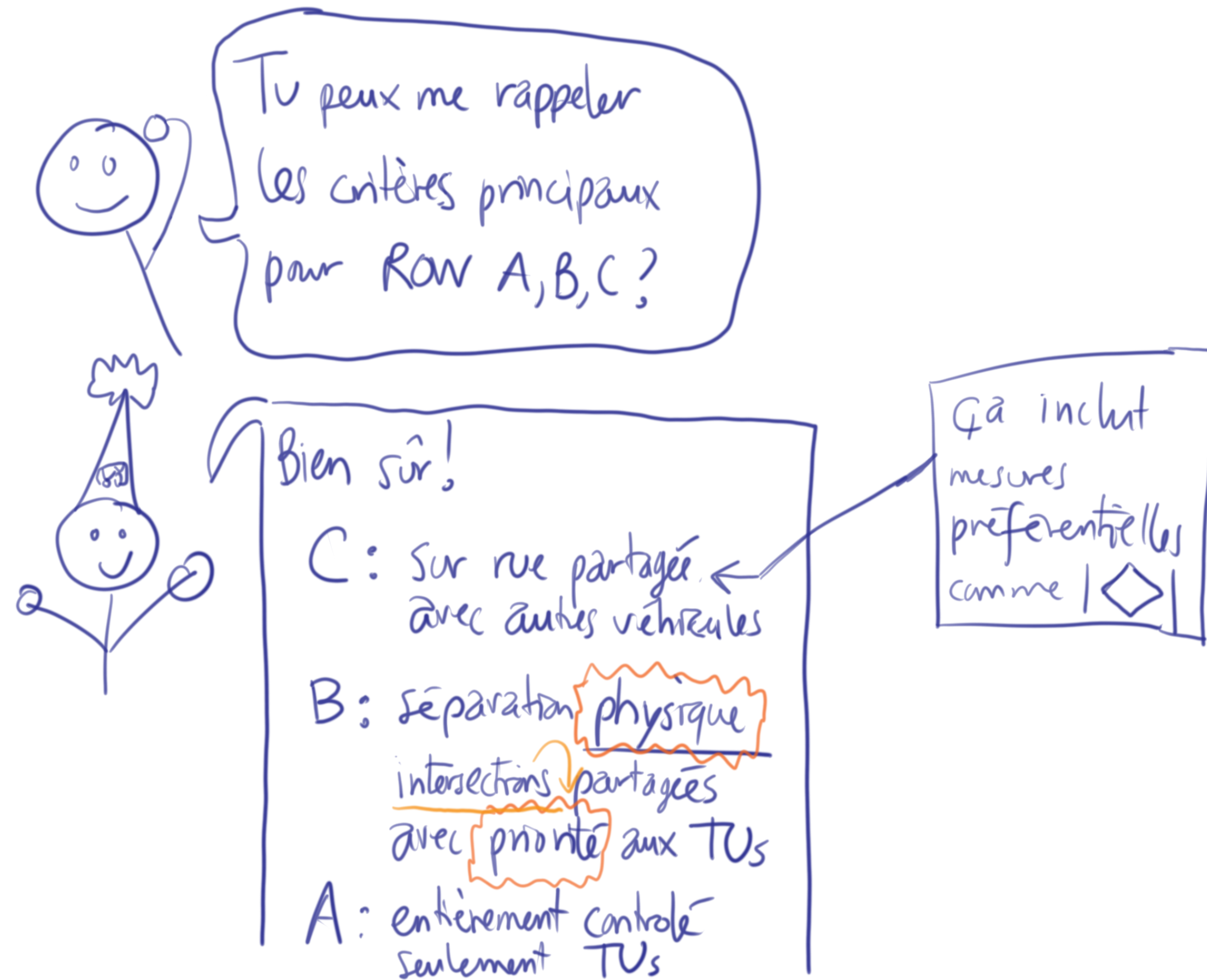
CIV6708 • Transport en commun
Cours 5

Par Pierre-Léo Bourbonnais

Référence principale: VUCHIC, Vukan R. *Urban Transit:
Operations, Planning, and Economics, 2005*

Chapitres 4 et 5

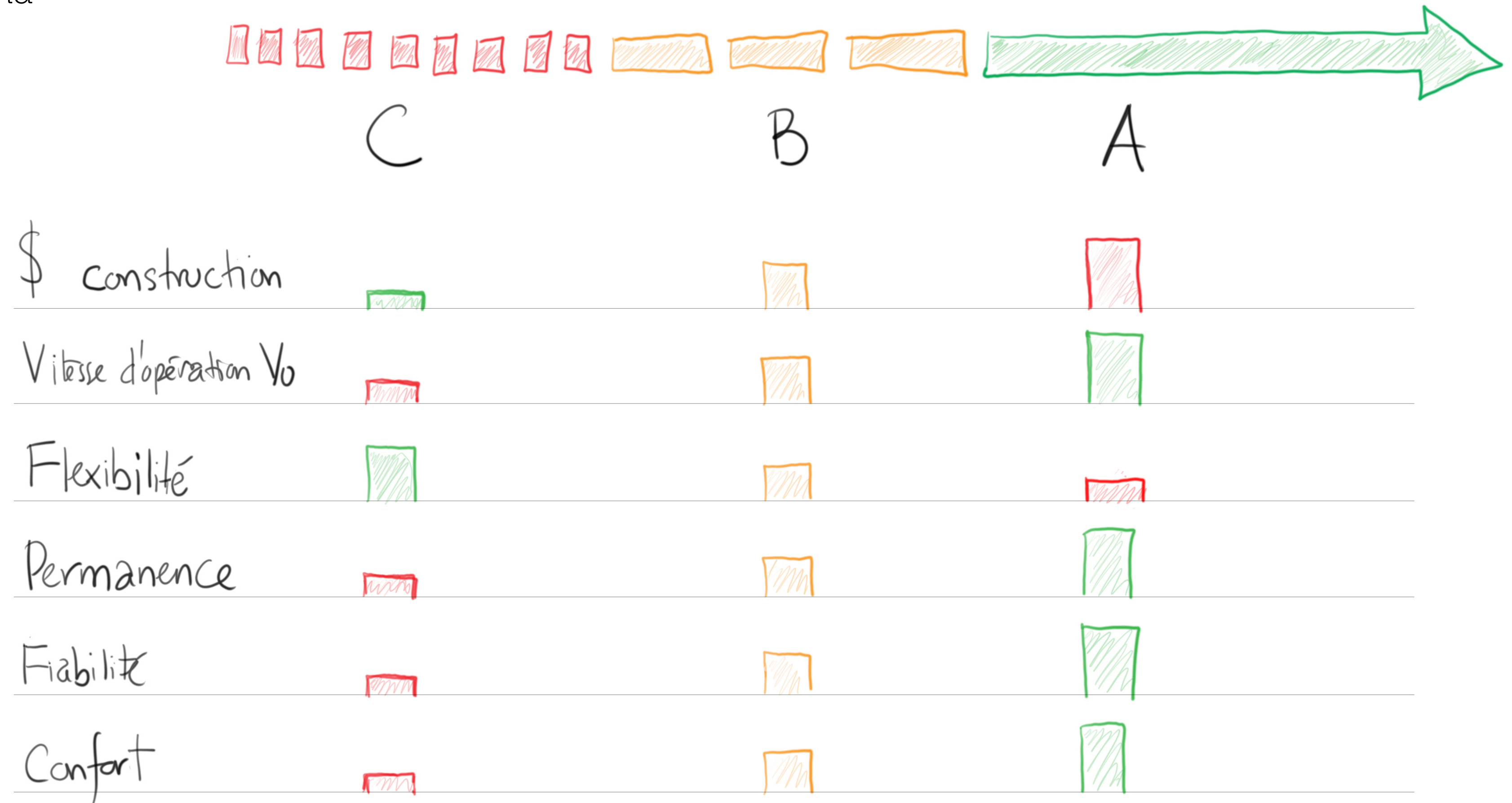
Catégories de passage • ROW



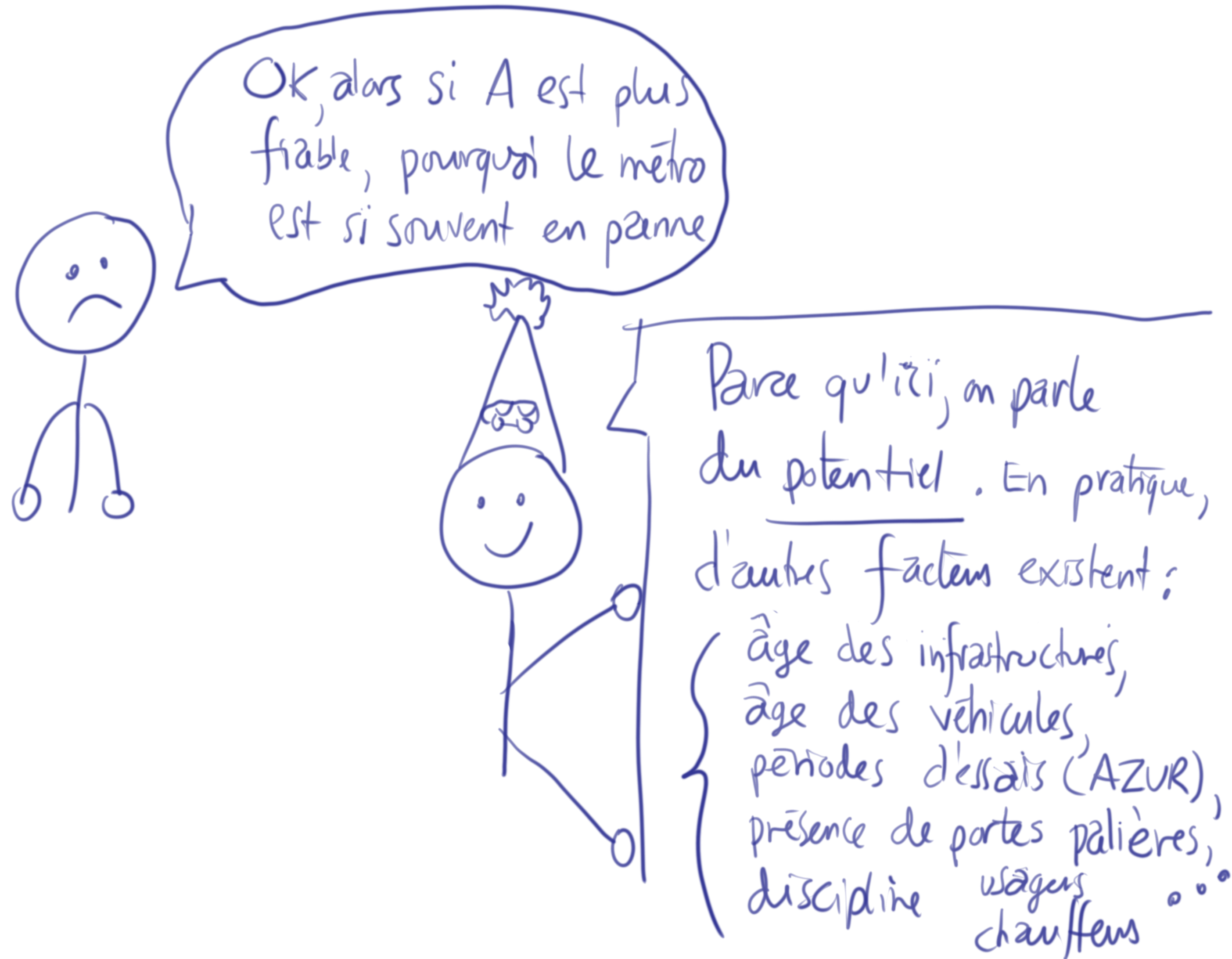
ROW B • Pourquoi **séparation physique**:
Parce que cela permet d'**éviter que les voitures, vélos et piétons se retrouvent dans la voie de TUs** par erreur ou par délinquance. Cette séparation peut aussi éviter des accidents.

Catégories de passage • ROW

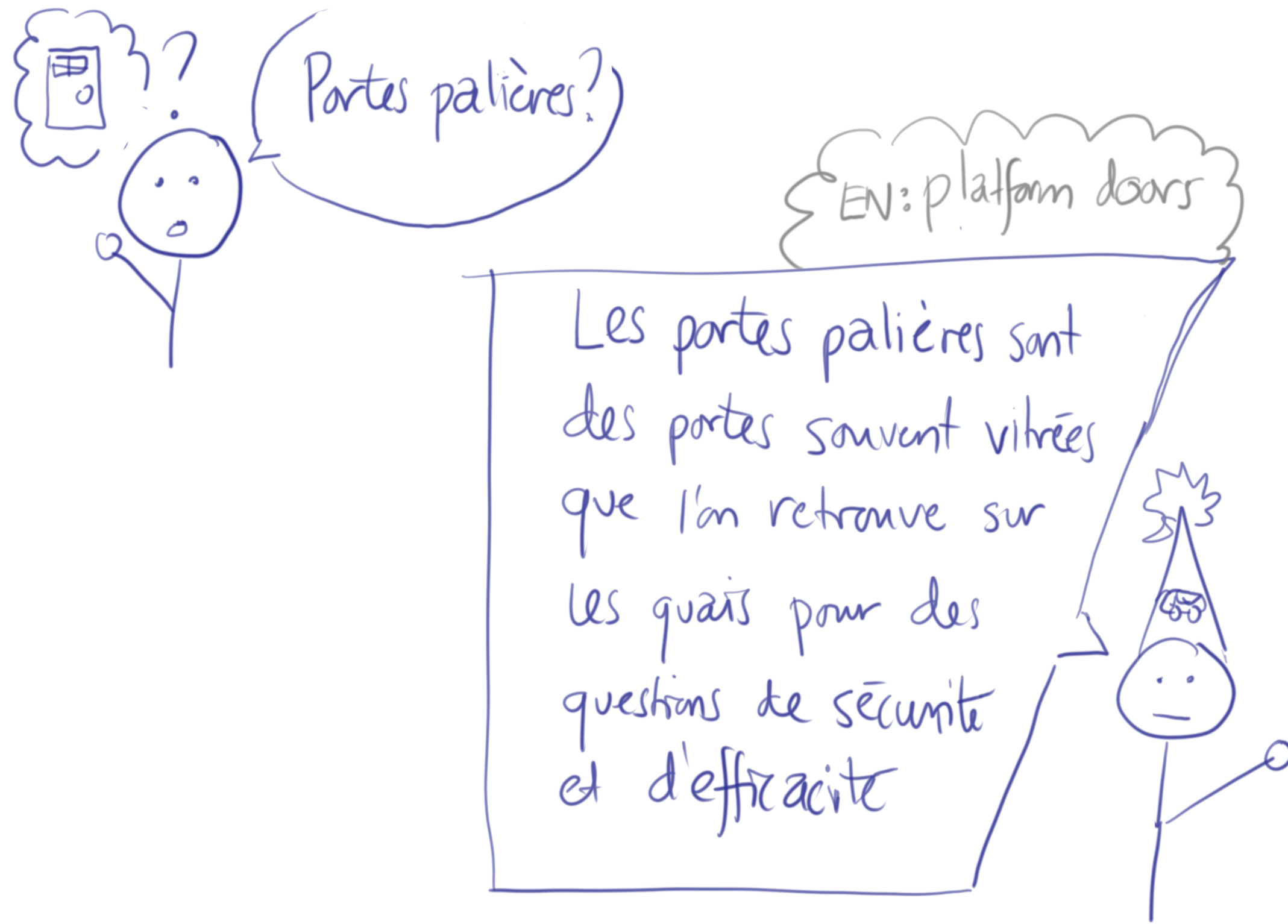
La **catégorie de passage (ROW)** est la plupart du temps **la caractéristique d'une ligne qui influence le plus sa performance**, à tous les niveaux. Il est en ce sens primordial d'y porter une attention particulière lors de la planification et de la conception de nouvelles lignes.



Catégories de passage • ROW



Catégories de passage • ROW



Objectifs des réseaux

1. Maximiser le travail de transport et la capacité productive

2. Maximiser l'efficacité opérationnelle

3. Maximiser les impacts positifs:

- ↓ congestion
- ↑ mobilité
- ↑ accessibilité
- ↑ qualité de vie
- ↑ sécurité
- ↑ vitesse
- ↑ durabilité du transport
- optimiser l'aménagement urbain

I. Attirer les usagers

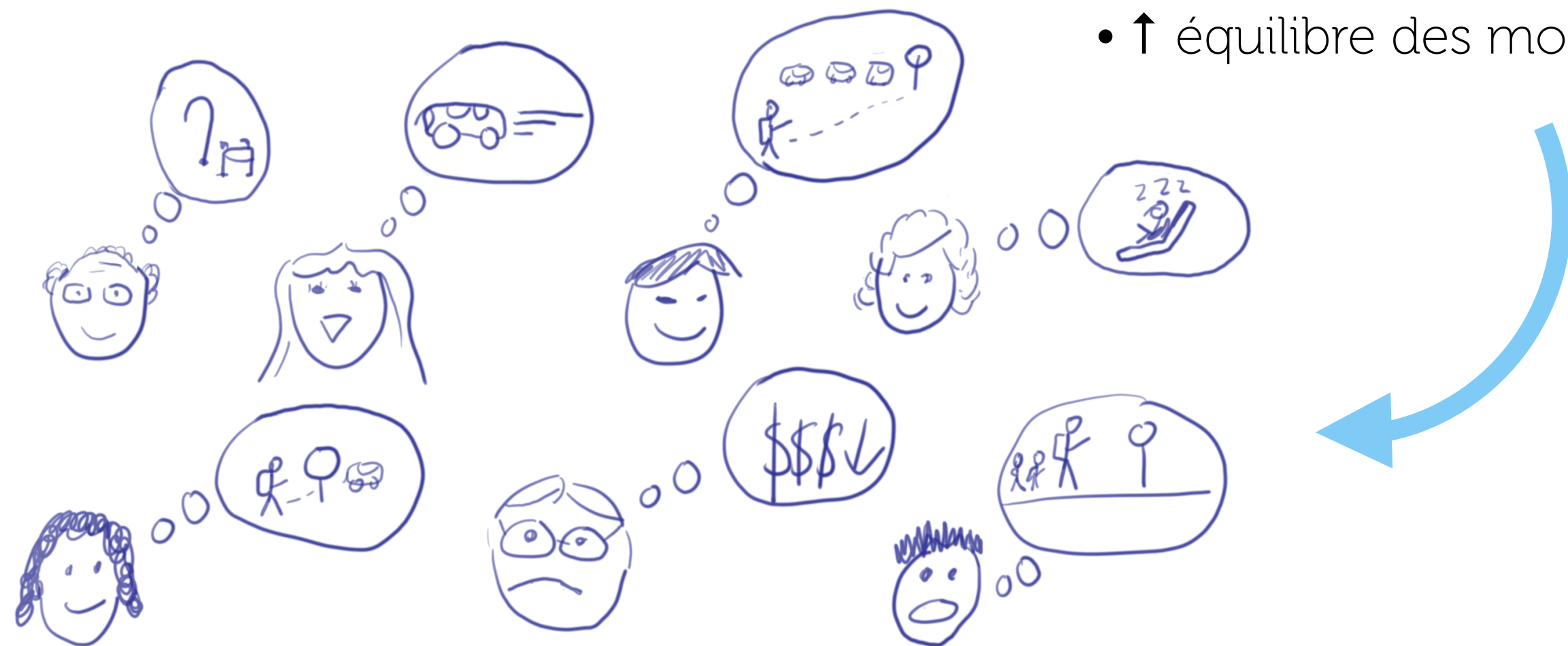
- ↑ niveau de service et ↑ accès (espace + temps)
- ↑ vitesses d'opération
- ↓ transferts
- ↓ attente
- suivre les lignes de désir
- ↑ simplicité
- ↑ connectivité
- faciliter les transferts
- ↑ sécurité (accès, intersections, traverses, etc.)
- \$ raisonnable, flexibilité des tarifs
- ↑ alternatives de parcours
- ↑ robustesse, fiabilité, ↑ discipline de la main d'œuvre
- ↑ obstacles à l'auto solo
- ↑ équilibre des modes

II. Rendre le réseau plus efficace

- équilibrer le volume par ligne et direction
- intégrer l'intermodalité
- ↓ HLP : position optimale des terminaux, dépôts et garages
- ↓ \$: optimisation des ressources, analyse de cycle de vie des infrastructures et véhicules
- ↑ \$ infrastructure ⇒ ↓ \$ opération

III. Améliorer l'interaction ville ↔ réseau TC

- optimiser l'utilisation du sol
- ↑ valeur du sol
- stimuler le développement (TOD)
- coordonner les opérations (infrastructures, déneigement, nettoyage, travaux de voirie, etc.)
- ↑ ou mieux équilibrer la densité
- favoriser la multiplication des vocations
- intégrer les modes parallèles et actifs avec TC

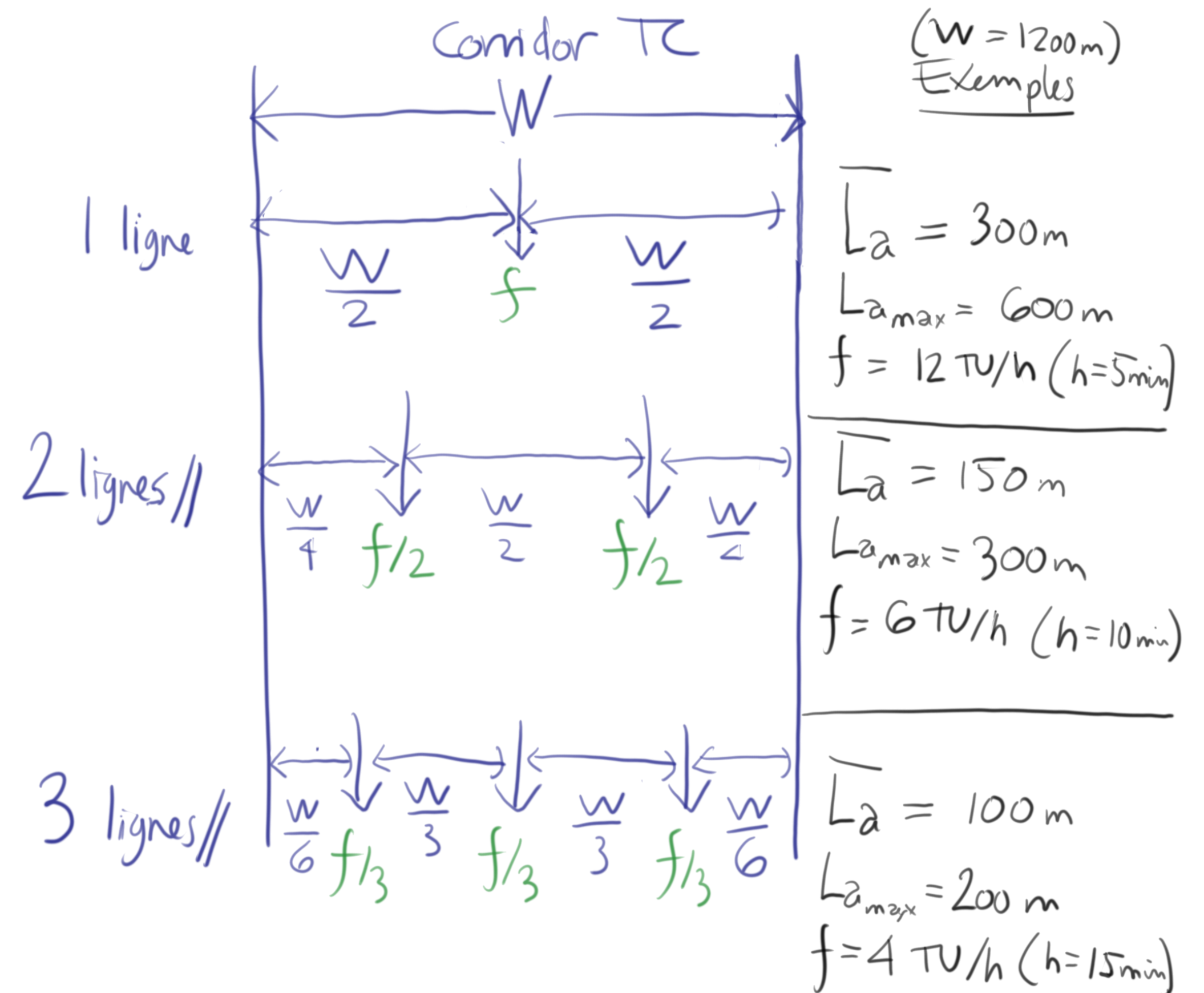


Géométrie de lignes

Facteurs de conception principaux

Espacement entre lignes parallèles d'un même corridor TC • Longueur • Tracé • Interconnexions

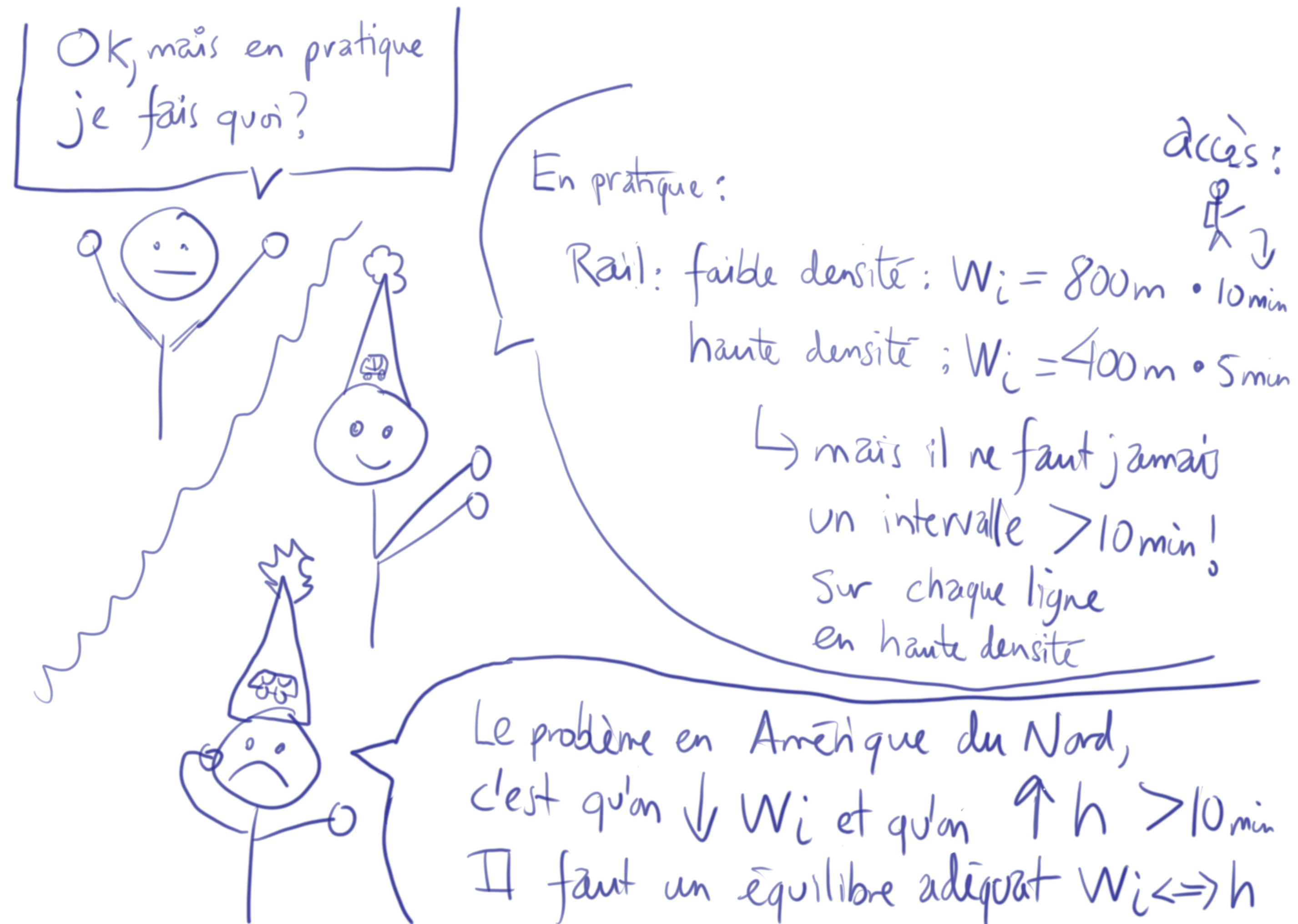
nombre de lignes parallèles	n
largeur du corridor	W
distance de chaque ligne par rapport à la frontière gauche du corridor	$W_i = \frac{W}{2n} (2i - 1)$
fréquence de chaque en fonction de la fréquence du corridor	$f_i = \frac{f_c}{n}$
distance moyenne d'accès au corridor	$\bar{L}_a = \frac{W}{4n}$
distance maximale d'accès au corridor	$L_{a_{max}} = \frac{W}{2n}$



Géométrie de lignes

Facteurs de conception principaux

Espacement entre lignes parallèles d'un même corridor TC • Longueur • Tracé • Interconnexions



Géométrie de lignes

Facteurs de conception principaux

Espacement entre lignes parallèles d'un même corridor TC • **Longueur** • Tracé • Interconnexions

Avantages et inconvénients d'une longue ligne

Avantages +

- ↓ transferts
- ↓ % de temps en terminal
- l'ajout d'une station est bénéfique en terme de desserte:

Nombre de paires de stations desservies directement (sans transfert)

$$\frac{k(k-1)}{2}$$

Exemple: ajout d'une 11^e station à une ligne de 10 stations (+ 10%)

$$\frac{10(10-1)}{2} = 45$$

augmente le nombre de paires desservies de 20%

$$\frac{11(11-1)}{2} = 55$$

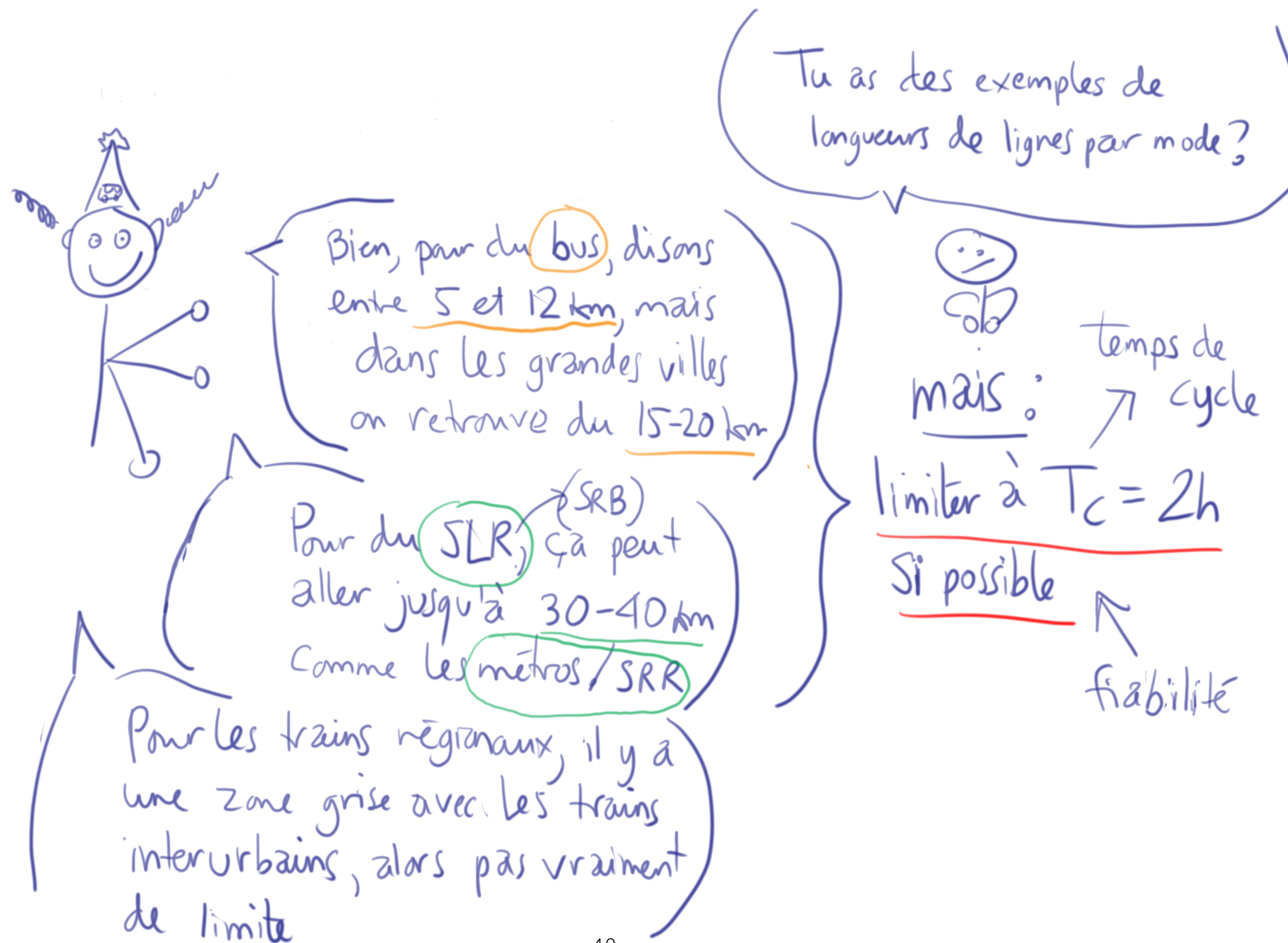
Désavantages –

- ↓ fiabilité, surtout en ROW C (propagation des délais)
- difficile à intégrer dans les tournées de chauffeurs
- déséquilibre plus fréquent dans le volume de passagers (profil de charge plus variable)

Géométrie de lignes

Facteurs de conception principaux

Espacement entre lignes parallèles d'un même corridor TC • **Longueur** • Tracé • Interconnexions



Géométrie de lignes

Facteurs de conception principaux

Espacement entre lignes parallèles d'un même corridor TC • Longueur • **Tracé** • Interconnexions

Le tracé d'une ligne est toujours un compromis entre

la couverture

(zone d'accessibilité)

et

une faible tortuosité

(réduction des détours par rapport à la ligne de désir globale à vol d'oiseau)

Des détours en milieu de ligne sont beaucoup plus pénalisants qu'en début ou fin de ligne, car ils affectent un plus grand nombre d'utilisateurs

Géométrie de lignes

Facteurs de conception principaux

Espacement entre lignes parallèles • Longueur • **Tracé** • Interconnexions



Banlieue éloignée Banlieue proche Centre CV

Observe ces 3 exemples:

← Ceci est acceptable car seuls les usagers de la banlieue éloignée sont affectés par le détour

← Cela n'est plus acceptable car presque tout le monde "subit" le détour!

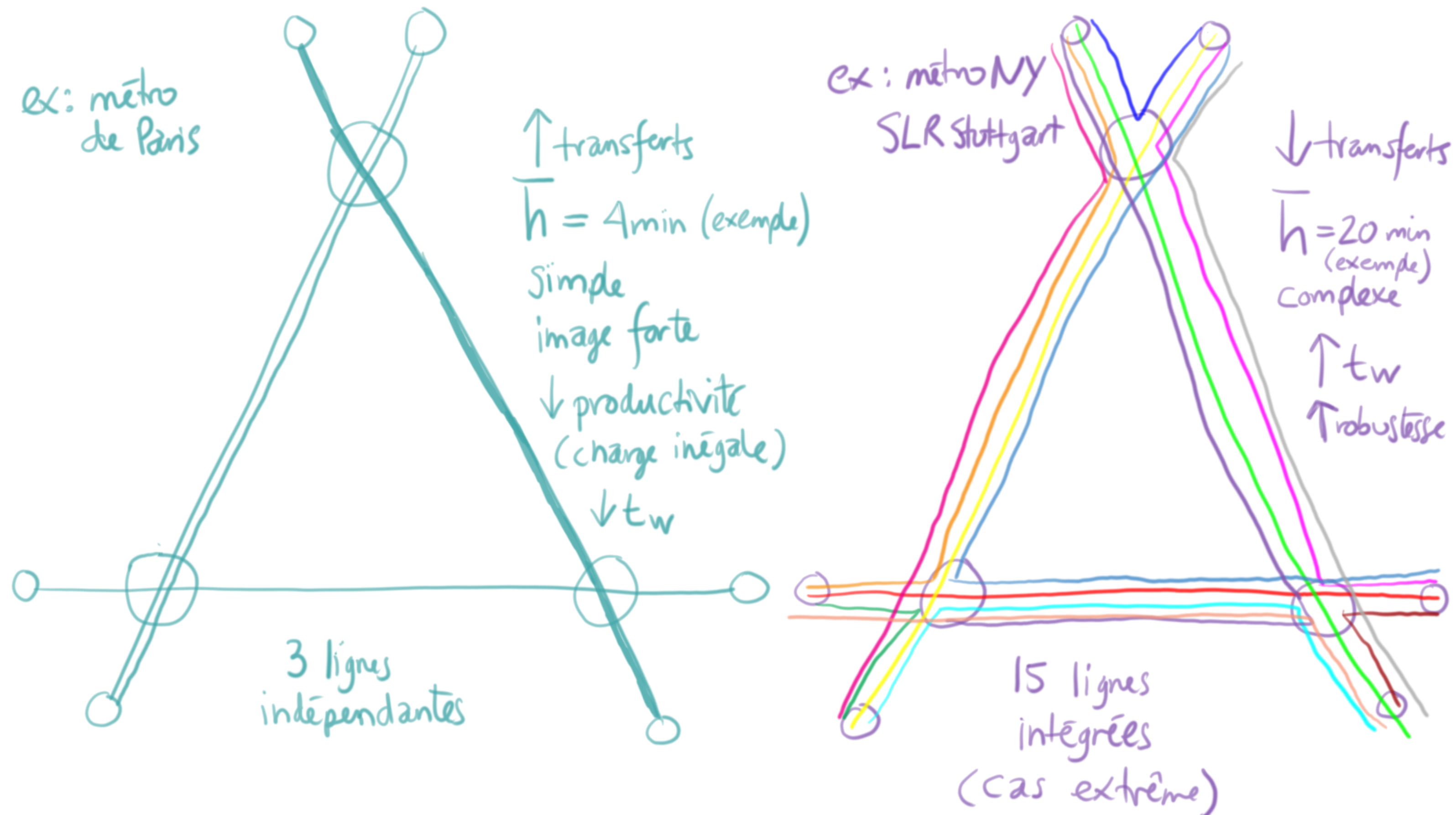
← on peut par contre ajouter une ligne express plus directe comme compromis...

Géométrie de lignes

Facteurs de conception principaux

Espacement entre lignes parallèles d'un même corridor TC • Longueur • Tracé • **Interconnections**

Lignes indépendantes ou lignes intégrées ?



Géométrie de lignes

Facteurs de conception principaux

Espacement entre lignes parallèles d'un même corridor TC • Longueur • Tracé • **Interconnexions**

Lignes indépendantes ou lignes intégrées ?

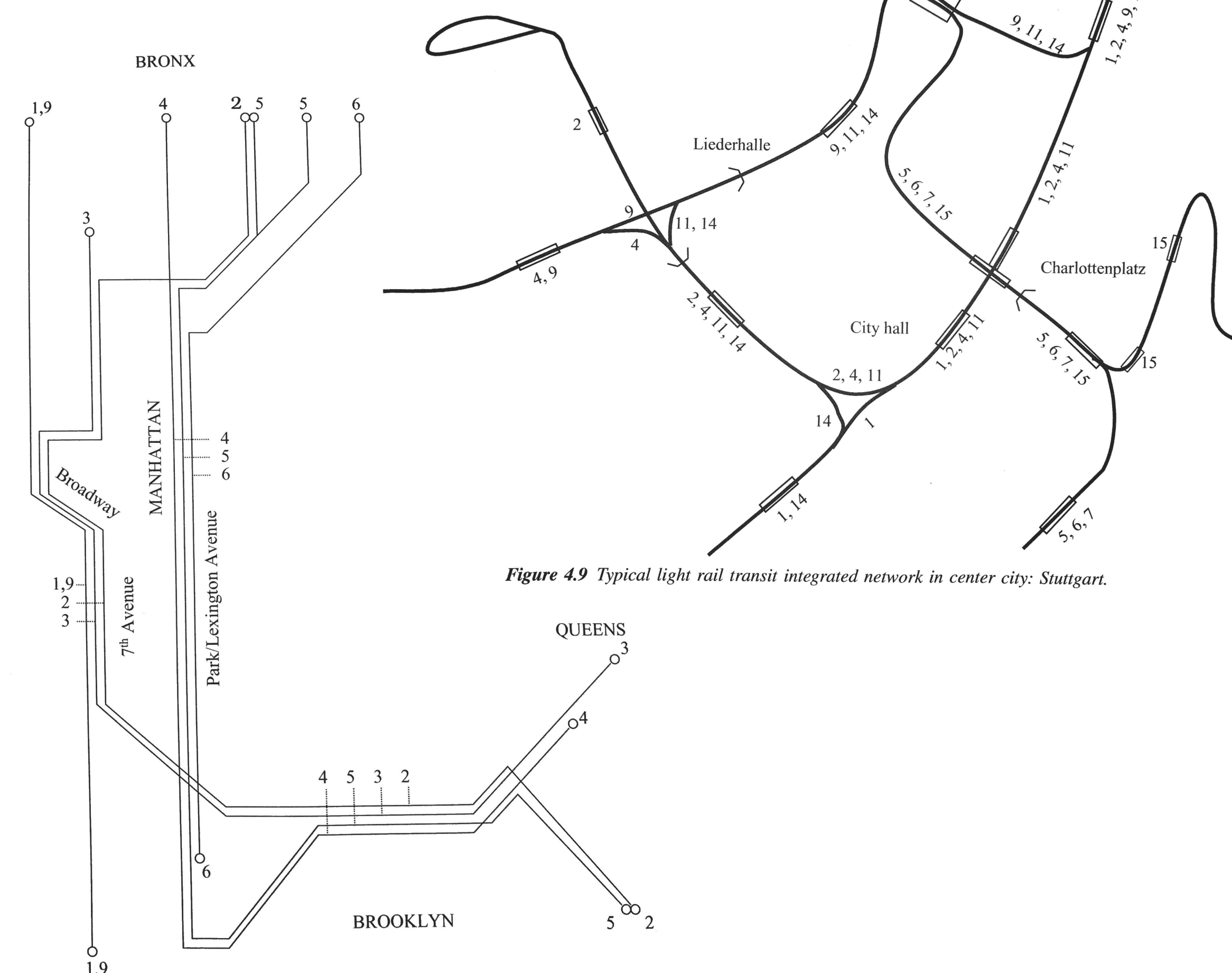
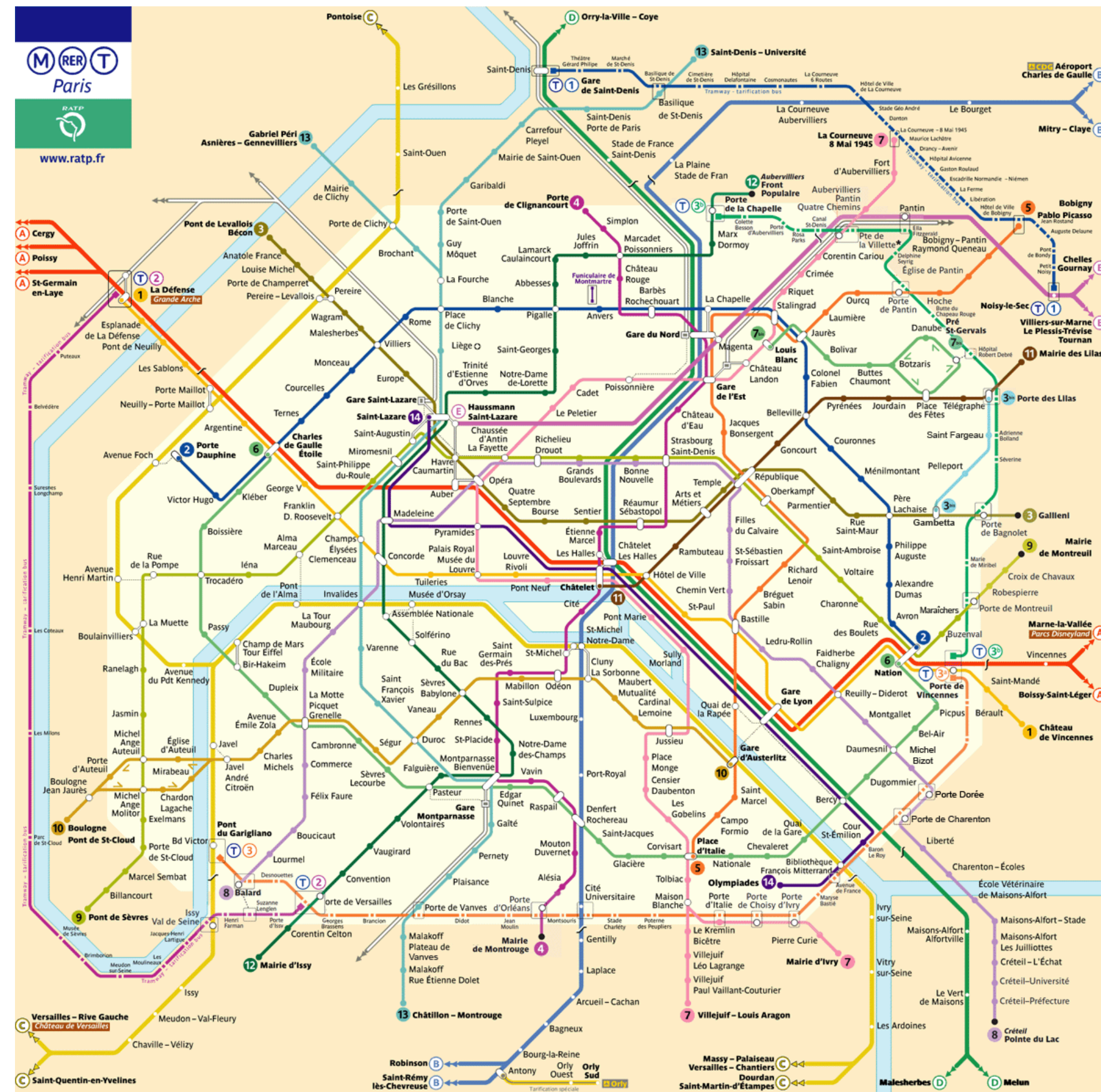


Figure 4.9 Typical light rail transit integrated network in center city: Stuttgart.

Figure 4.8 Schematic layout of the contiguous Division A network in New York City.

Géométrie de lignes

Géométries

Radiales • Diamétrales • Tangentielles • Circonférentielles • Branches • Rabattements • Lignes avec boucles



Les lignes radiales **suivent la demande et sa direction**, mais **servent surtout les déplacements pendulaires**. **Le potentiel d'attirer d'autres usagers et de réduire la motorisation est quasiment nul.**

Les lignes radiales s'accompagnent soit d'une **augmentation des transferts**, soit d'une **augmentation des distances d'accès**, notamment près du terminus situé au Centre-Ville. La localisation d'un **terminus** sur deux **au Centre-Ville augmente considérablement les coûts de construction** (↑ valeur des terrains)

De nos jours: effort important de **conversion de lignes radiales en lignes diamétrales**

Géométrie de lignes

Géométries

Radiales • **Diamétrales** • Tangentielles • Circonférentielles • Branches • Rabattements • Lignes avec boucles



Les lignes diamétrales **traversent le Centre-Ville ou la zone dense**. Il répondent à un **plus grand nombre de motifs** de déplacements, **réduisent le nombre de transferts** et **augmentent l'accessibilité**.

Elles sont toutefois, dans plusieurs cas, **moins bien équilibrées dans les deux directions** (profil de charge variable). **En ROW C, les délais peuvent s'accumuler rapidement.**

Géométrie de lignes

Géométries

Radiales • Diamétrales • **Tangentielles** • Circonférentielles • Branches • Rabattements • Lignes avec boucles



Les lignes tangentielles desservent une **demande moins pointue**. Elles permettent de **relier rapidement les écoles, les universités, les zones commerciales et les zones industrielles sans passer par le centre** plus congestionné.

Les lignes tangentielles sont **souvent très efficaces en ROW B (SLR/SRB)**.

Géométrie de lignes

Géométries

Radiales • Diamétrales • Tangentielles • **Circonférentielles** • Branches • Rabattements • Lignes avec boucles



Les lignes circonférentielles favorisent la création d'un **réseau mieux intégré, connectent les zones de moyenne et forte densités entre elles**. Elles **aident à réduire le nombre de transferts** et à **distribuer la charge** sur l'ensemble des lignes.

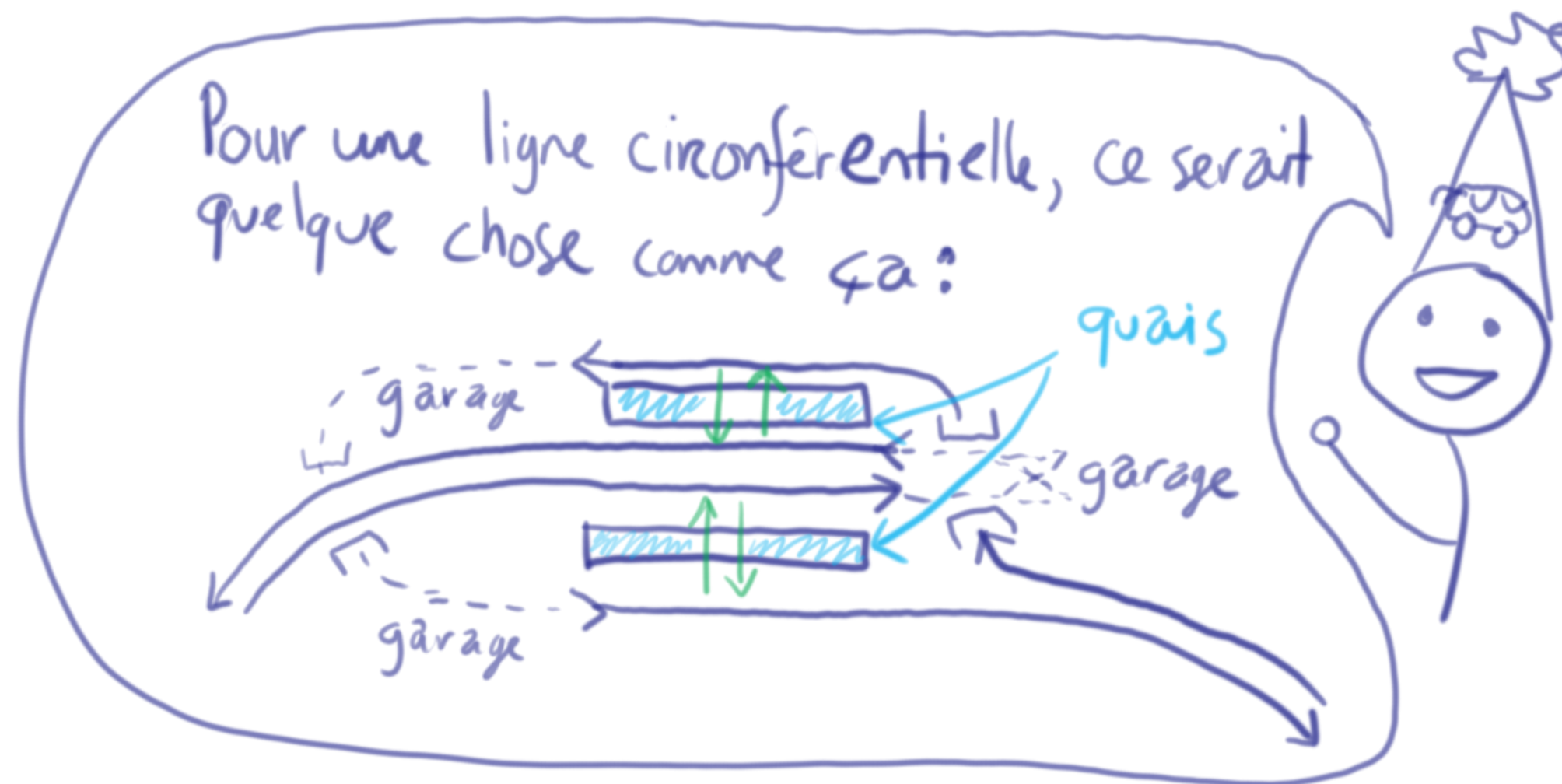
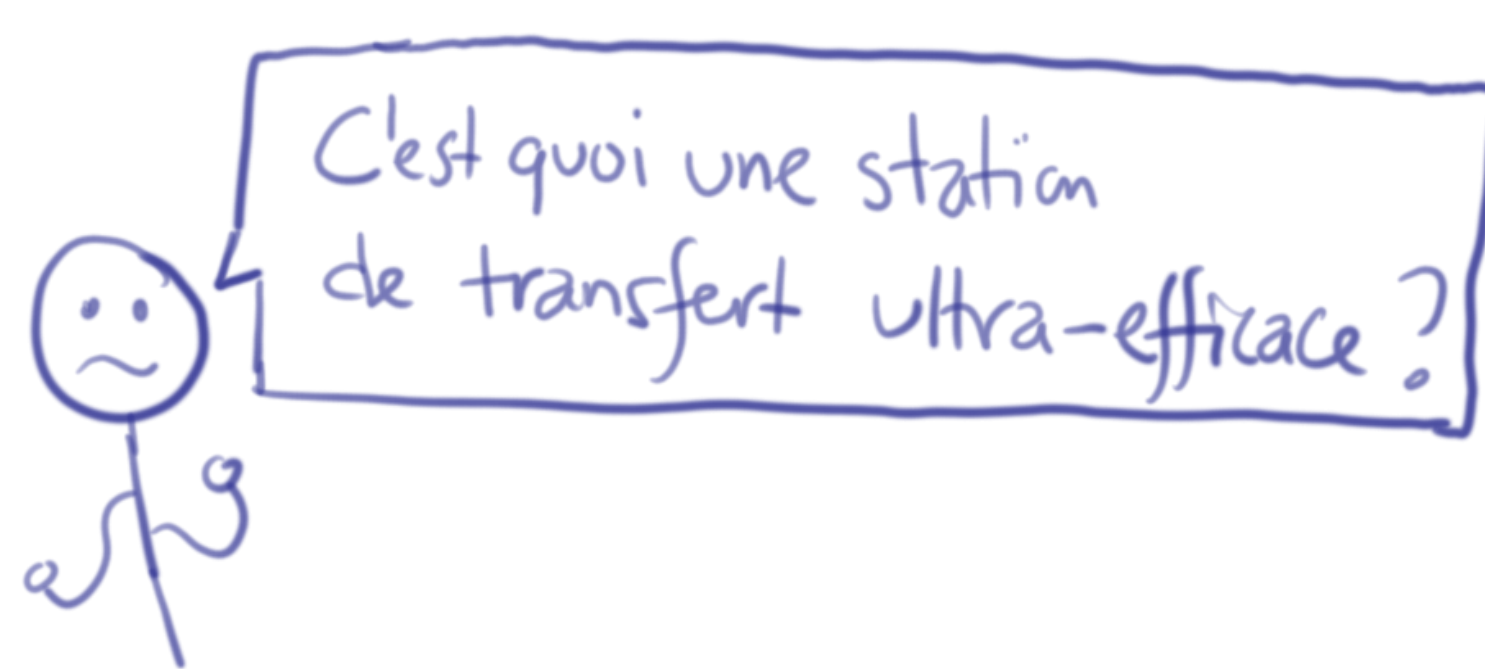
Elles sont par contre **contraintes par le temps de cycle** (qui détermine les intervalles possibles) et sont **vulnérables à la propagation des délais**. Pour cette raison, on ajoute dans certains cas un **terminus de battement obligeant les transferts**. Cette solution est toutefois **à éviter, à moins de concevoir une station de transfert ultra-efficace**.

Le **potentiel énorme** d'accroître l'intégration et l'efficacité globale d'un réseau par des lignes circonférentielles est **trop souvent sous-estimé**.

Géométrie de lignes

Géométries

Radiales • Diamétrales • Tangentielles • **Circonférentielles** • Branches • Rabattements • Lignes avec boucles



Géométrie de lignes

Géométries

Radiales • Diamétrales • Tangentielles • Circonférentielles • **Branches** • **Rabattements** • Lignes avec boucles

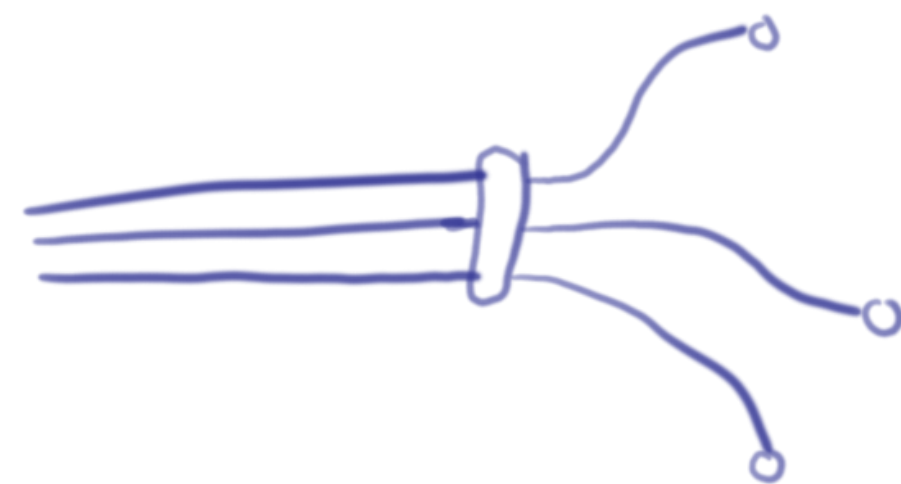


Tronc + Branches

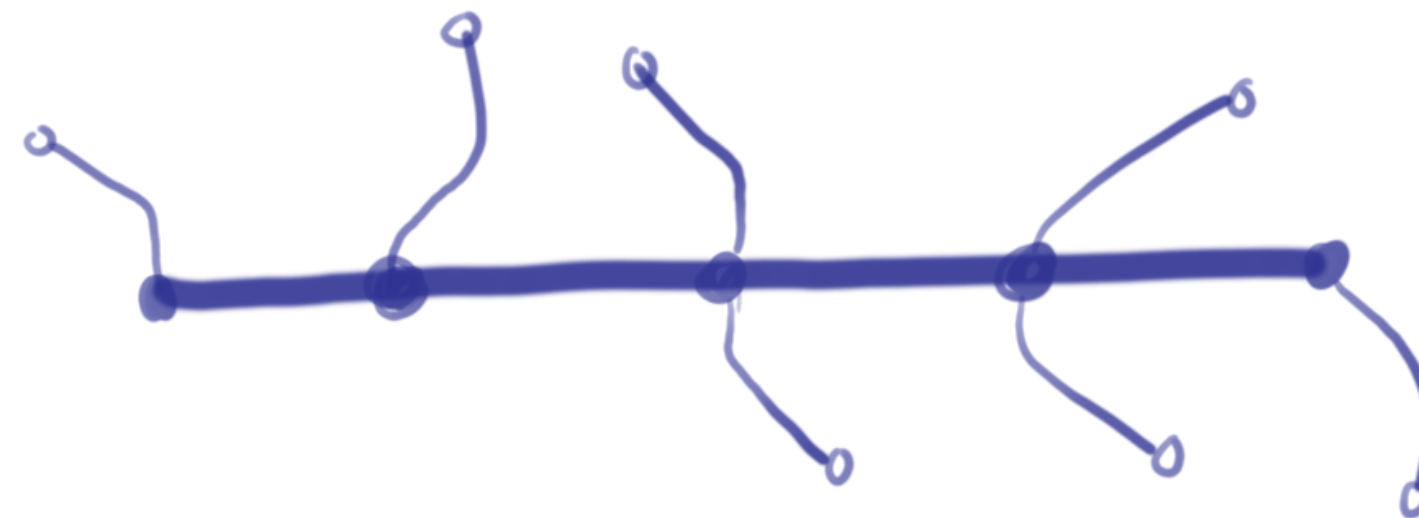
↓ transferts

↓ % temps en terminal

pas besoin de stations de transfert



Tronc + Branches



Tronc + Rabattements

Tronc + Rabattements

optimisation de chaque ligne (capacité, intervalle)

↑ performance du tronc (modes plus lourds, SLR, SRR)

intervalles réguliers sur chaque ligne + tronc

↑ fiabilité

↑ connectivité (transferts possibles entre lignes de rabattement) car stations de transfert mieux aménagées

Géométrie de lignes

Géométries

Radiales • Diamétrales • Tangentielles • Circonférentielles • Branches • Rabattements • **Lignes avec boucles**



Les lignes avec boucles sont la plupart du temps des **lignes radiales ou diamétrales avec une boucle** permettant d'**accroître la couverture en bout de ligne** (soit au centre-ville, soit en périphérie). Elles ont souvent un seul terminus.

Ces lignes permettent de rejoindre un **bassin de résidences plus grand** en banlieue ou un **bassin de générateurs de déplacements plus grand** au centre ou en zone dense.

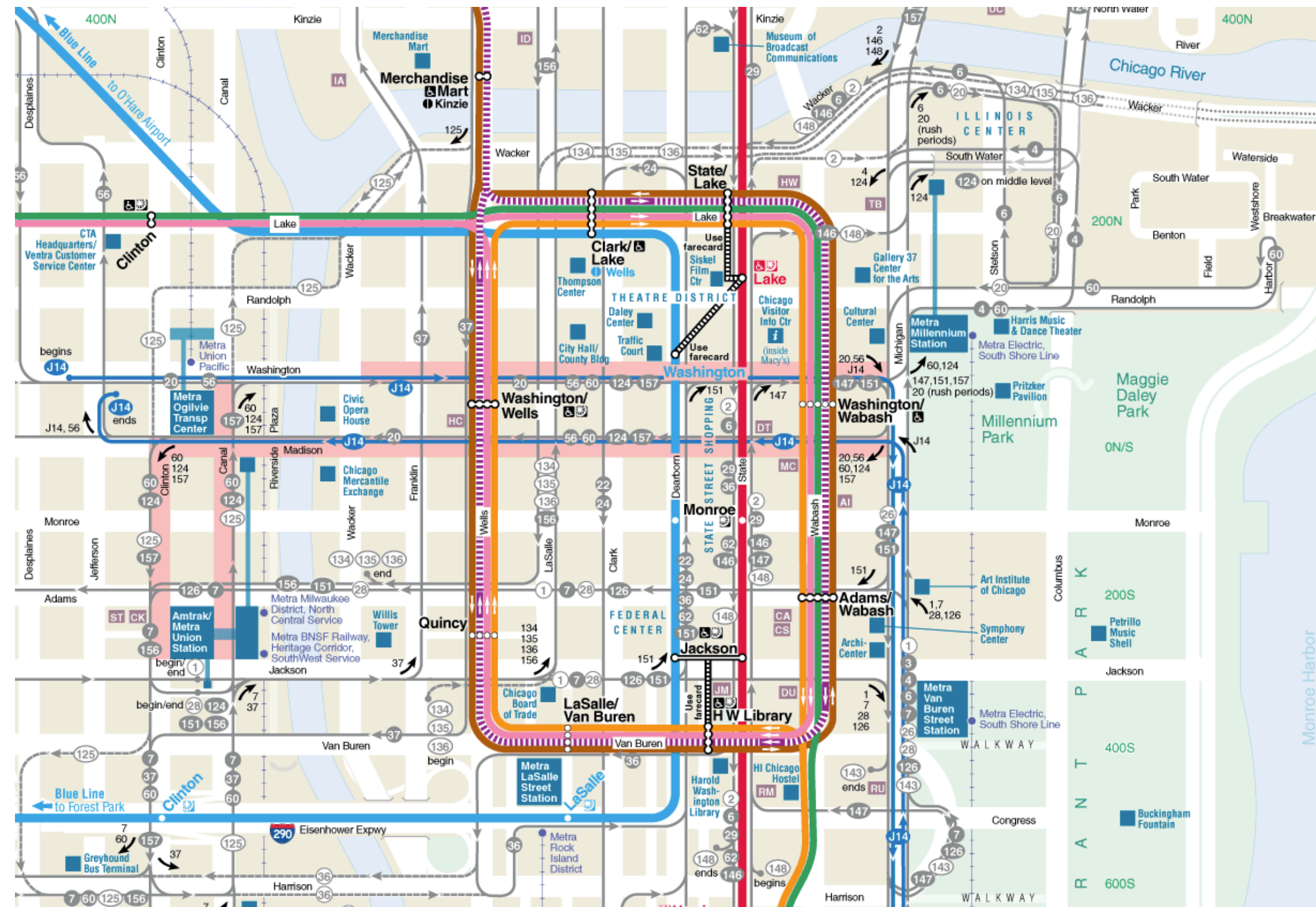
Géométrie de lignes

Géométries

Radiales • Diamétrales • Tangentielles • Circonférentielles • Branches • Rabattements • **Lignes avec boucles**



Exemple de boucles au centre-ville de Chicago



Transferts

Les transferts sont **très pénalisants**, mais on peut les **faciliter**, les **rendre plus agréables**.

↑ transferts ⇒ ↑ opportunités ⇒ ↑ efficacité opérationnelle

Pour réduire la résistance aux transferts, il faut planifier:

Conception des stations

Optimisation et minimisation des trajets à pied

Amélioration du mobilier urbain en station

Activités, commerces, loisirs en stations

Augmentation des fréquences de service

Coordination des horaires

Transferts

Types de transferts selon intervalles sur chaque ligne

Court: ≤ 10 minutes

Long: > 10 minutes

A. Intervalles **court-court**

B. Intervalles **long-court**

C. Intervalles **court-long**

D. Intervalles **long-long**

1. intervalles **égaux, synchronisés**

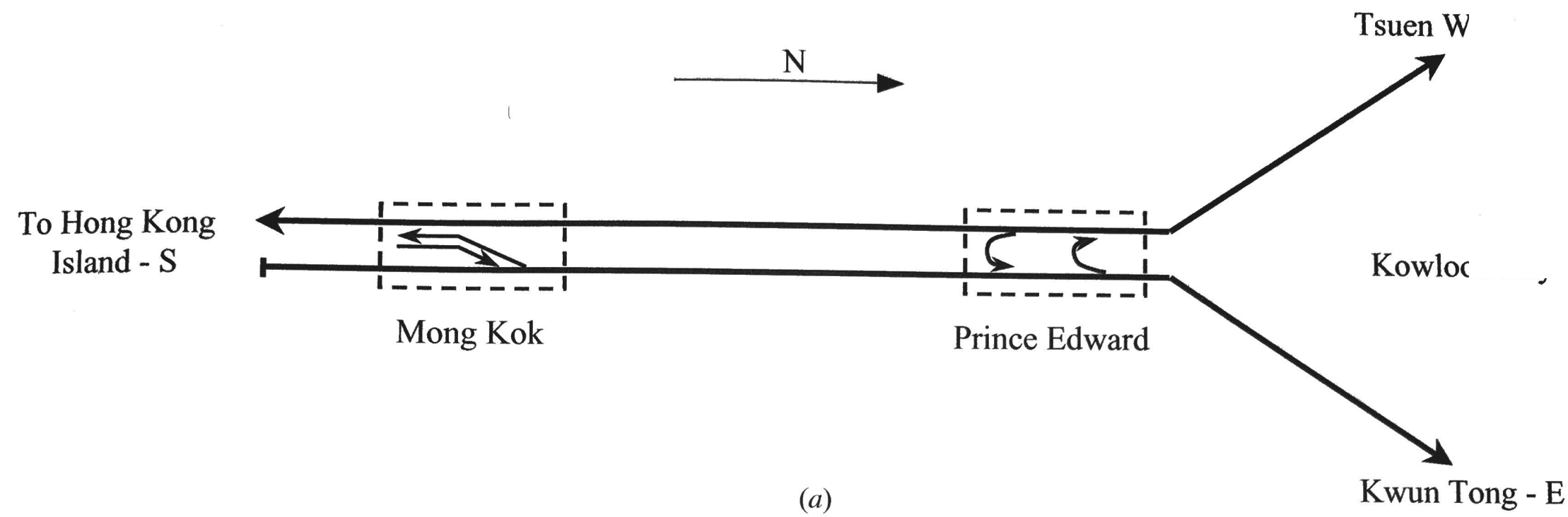
2. intervalles **égaux, non synchronisés**

3. intervalles **différents, non synchronisés** (temps d'attente aléatoire)



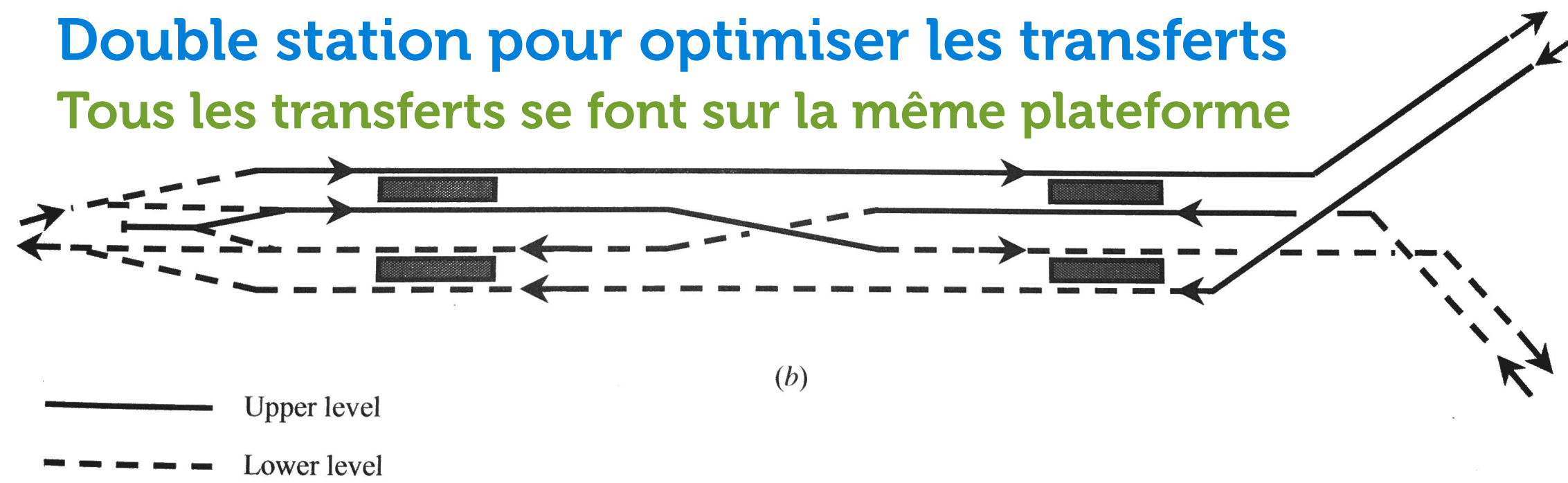
Acceptabilité, fiabilité

Transferts



(a)

Double station pour optimiser les transferts
Tous les transferts se font sur la même plateforme



(b)

Figure 4.17 Two-station Y junction with across-platform transfers for all movements (Hong Kong MTR—left-hand driving): (a) distribution of transfers; (b) layout of tracks and platforms.

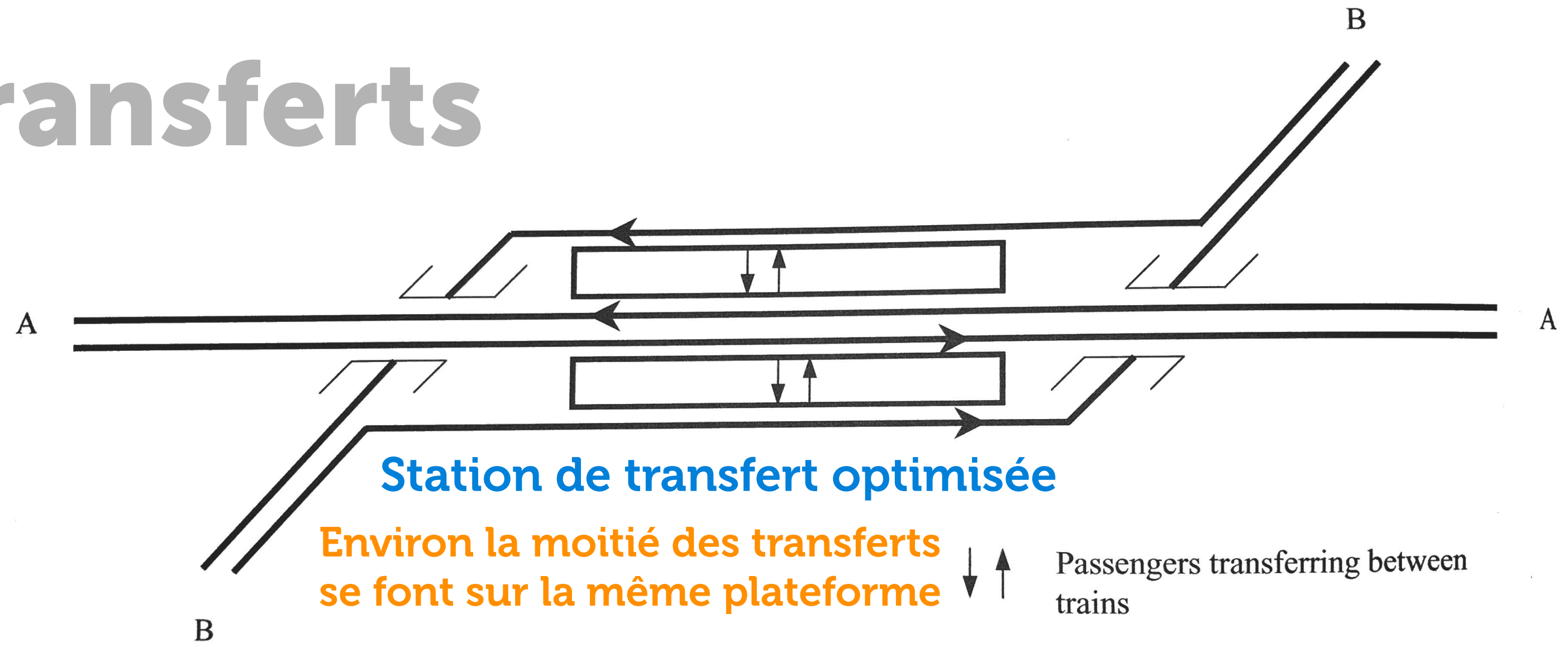
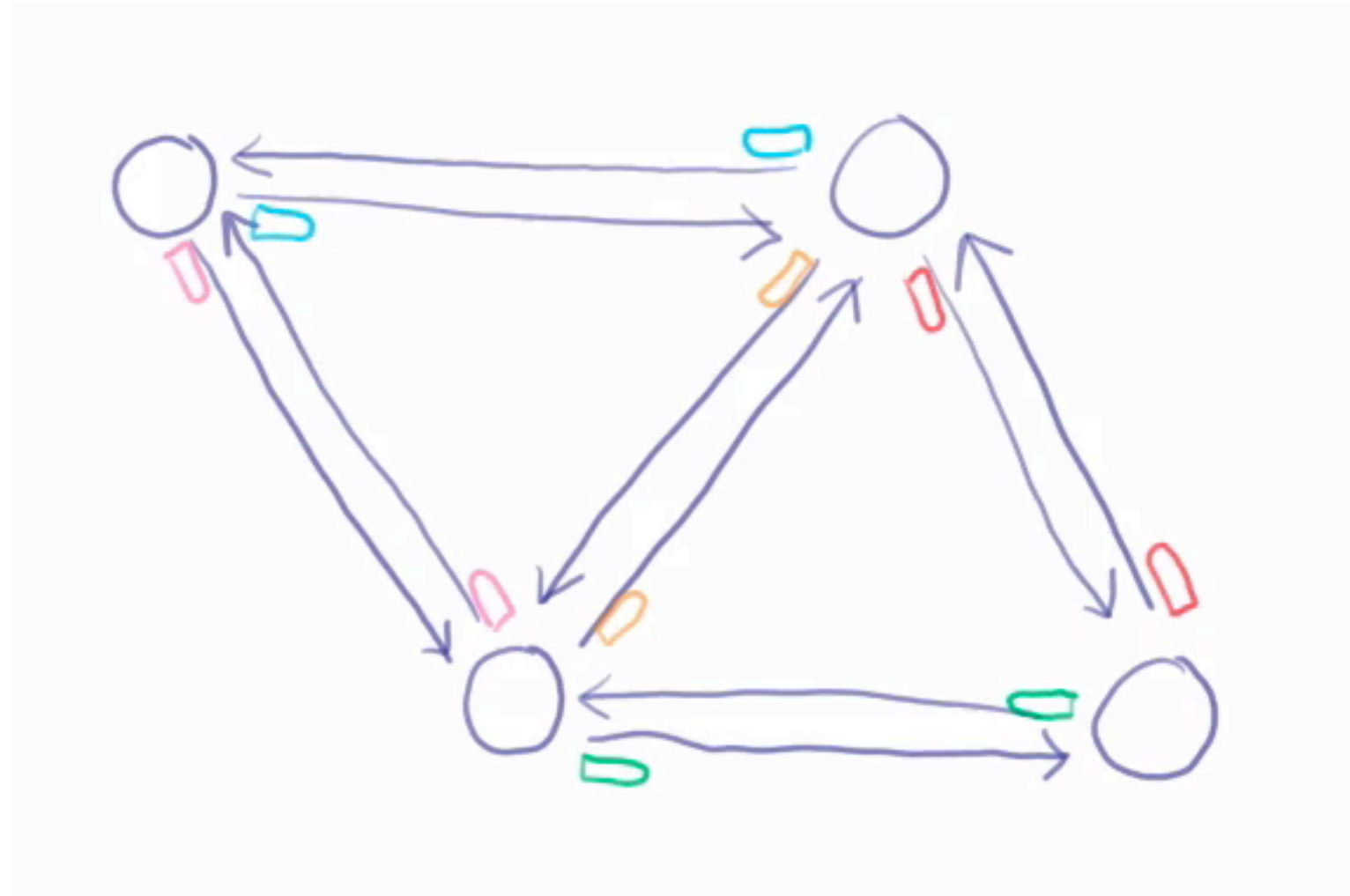


Figure 4.16 Metro station for simultaneous transfers between trains on two weaving lines.

Transferts

Transferts avec horaires cadencés

TTS (Timed Transfer System)



Fonctionnent avec des **points focaux** (stations de transfert synchronisées)

Les **TUs arrivent en même temps et repartent en même temps**, séparés par un **temps d'arrêt/de transfert fixe t_s**

Les **temps de parcours** de toutes les lignes doivent être **compatibles avec l'intervalle**

Nécessitent: **précision, discipline, fiabilité et robustesse**

Critères:

- géographie et temps de parcours compatibles
- intervalles de pulsation (exemples: 15 minutes, 20 minutes)
- fiabilité très élevée
- temps de transferts minimum t_s :
 - bus fiable: **2 à 4 minutes**
 - bus sous congestion: **4 à 6 minutes**, voire davantage
 - éviter TTS si $t_s > 6$ minutes

Exemple de réseaux qui utilisent très bien ce concept:

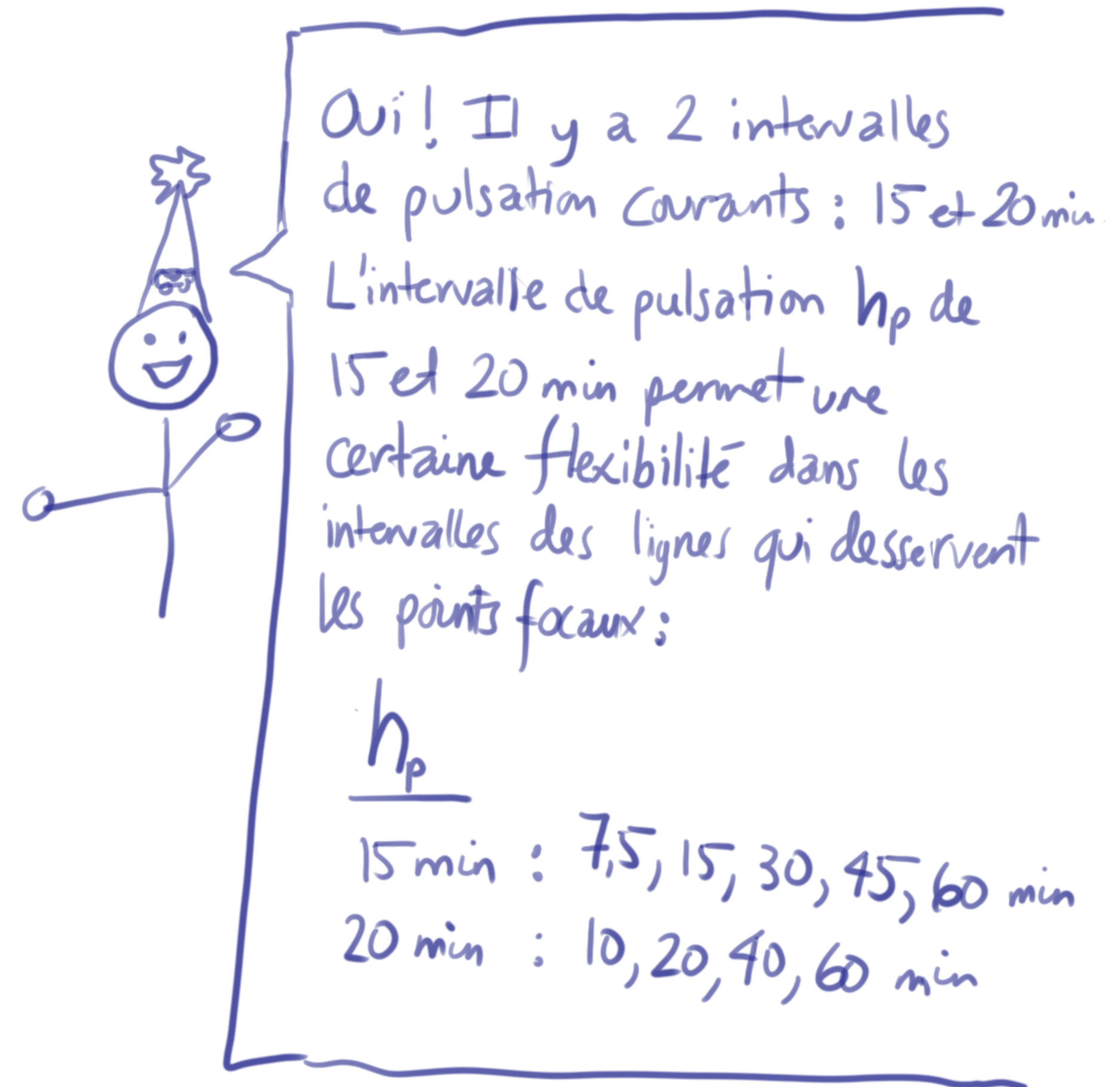
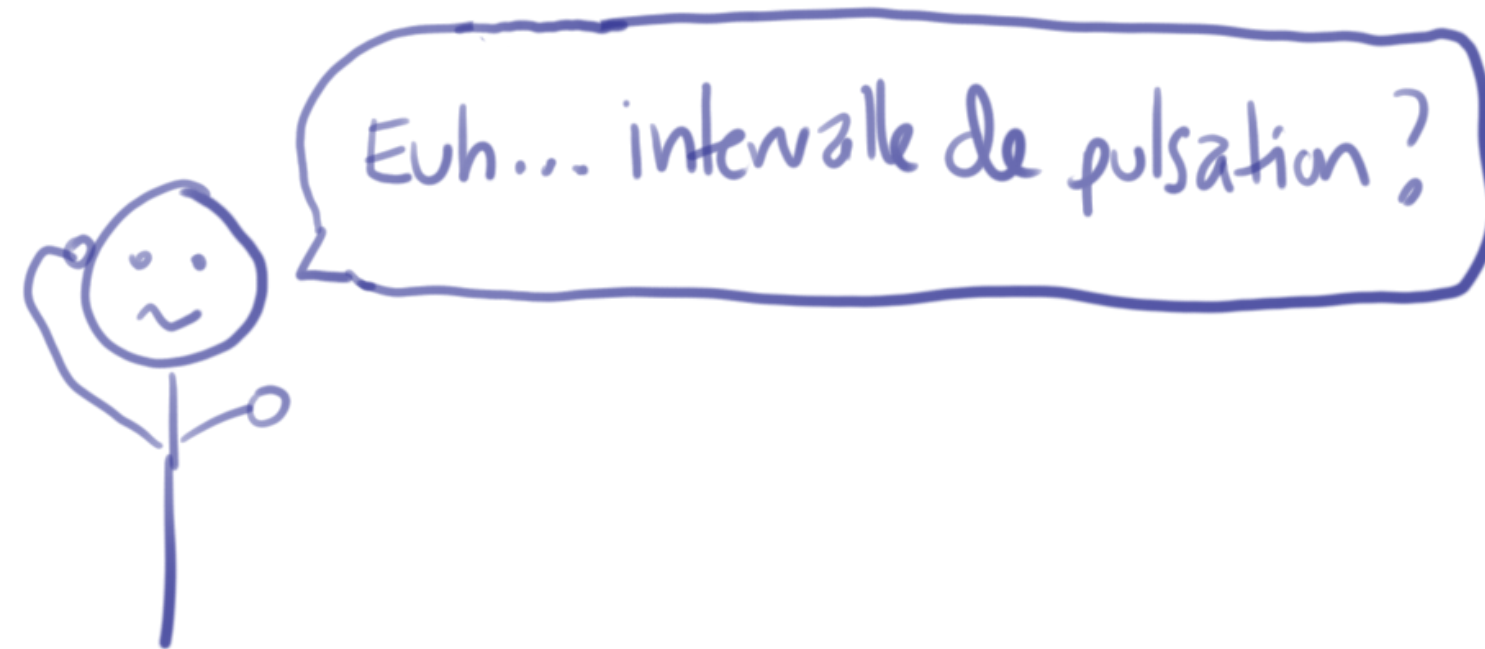
Trains et bus régionaux en **Suisse**, aux **Pays-Bas**, en **Allemagne**

En milieu urbain: courant pour les services de nuit pour éviter les correspondances manquées

Transferts

Transferts avec horaires cadencés

TTS (Timed Transfer System)



Transferts

Transferts avec horaires cadencés

TTS (Timed Transfer System)

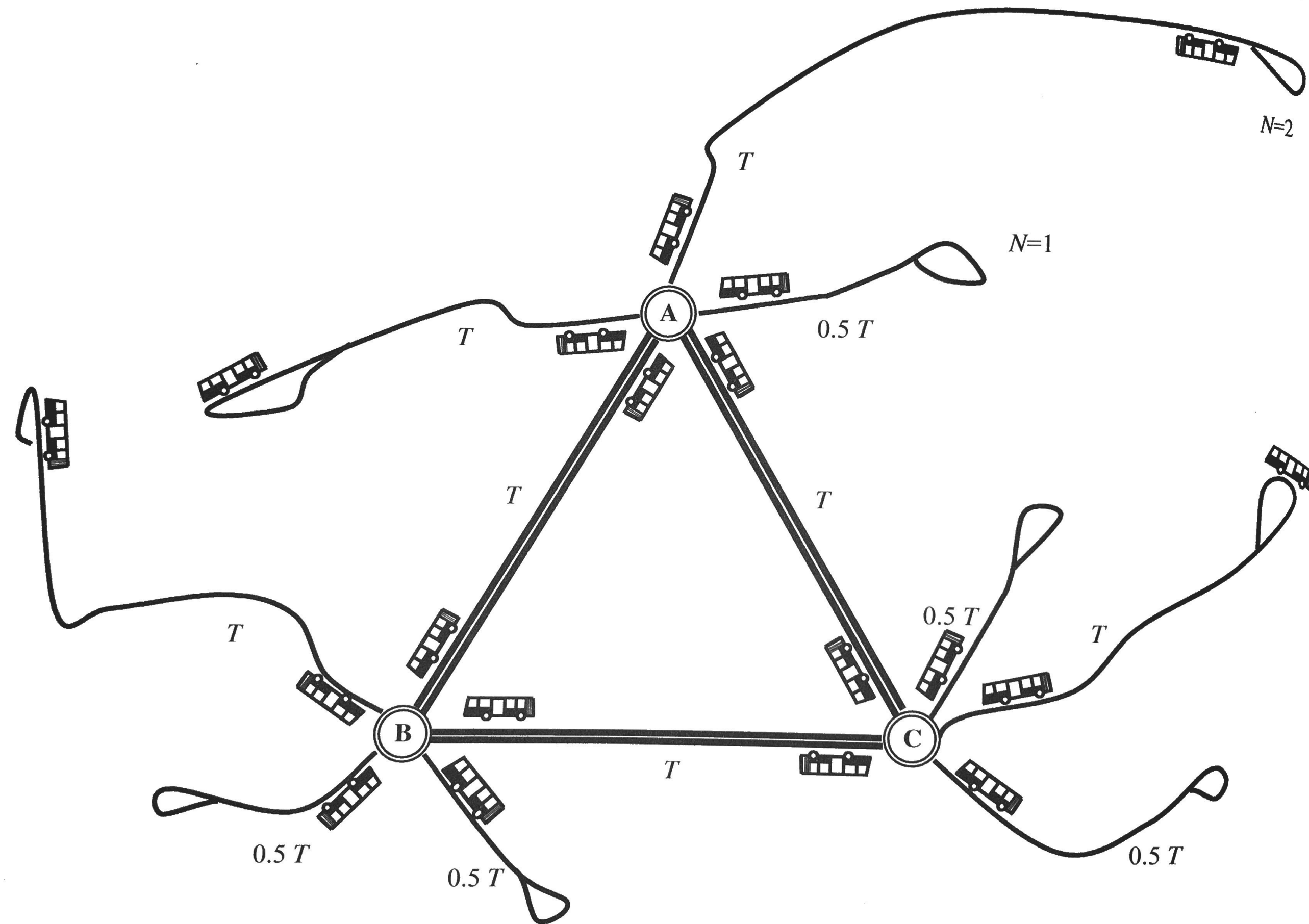
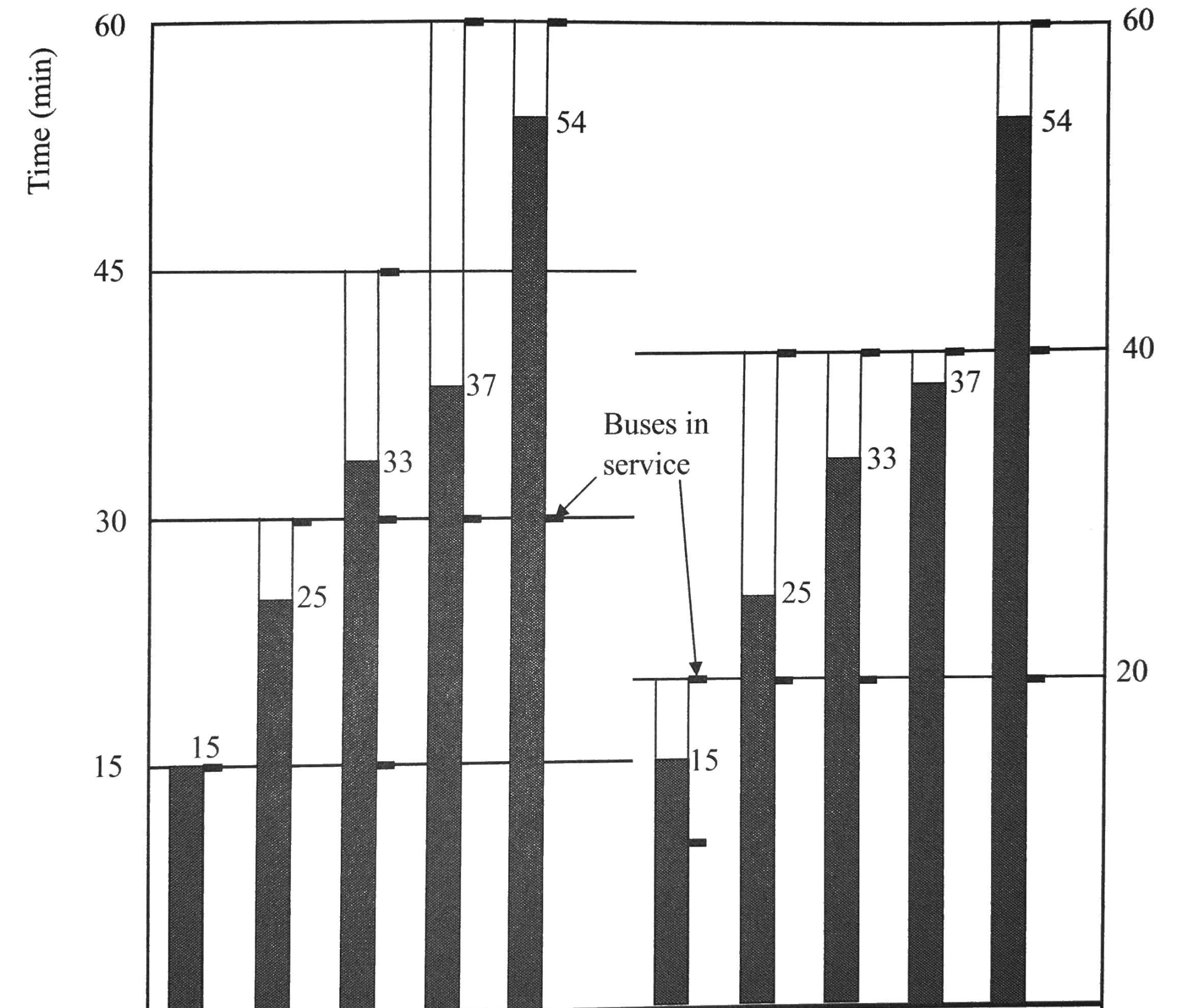


Figure 4.23 Triangular TTS network with simultaneous pulsing.



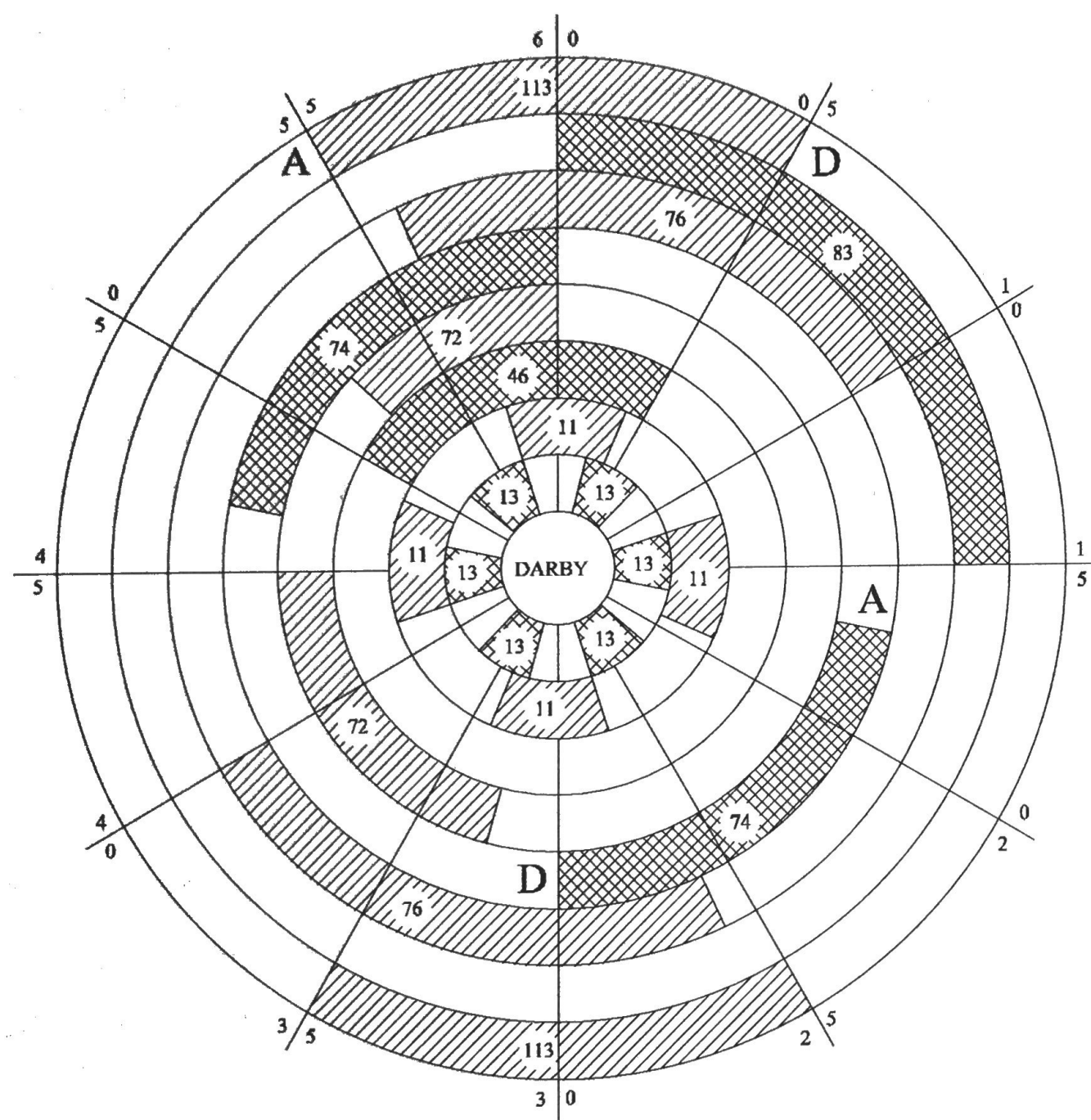
	$h_p = 15 \text{ min}$						$h_p = 20 \text{ min}$					
Line	A	B	C	D	E	Σ	A	B	C	D	E	Σ
T_{\min}	15	25	33	37	54		15	25	33	37	54	
h : Desired	15	30	20	40	30		15	30	20	40	30	
Offered	15	30	15	30	30		10	20	20	40	20	
T	15	30	45	(45)60	60		20	40	40	40	60	
$\Delta T = T - T_{\min}$	0	5	12	23	6	46	5	15	7	3	6	36
N	1	1	3	2	2	9	2	2	2	1	3	10
$N \cdot \Delta T$	0	5	36	46	12	99	10	30	14	3	18	75

Figure 4.20 Planning a five-line TTS for pulse headways of 15 and 20 minutes.

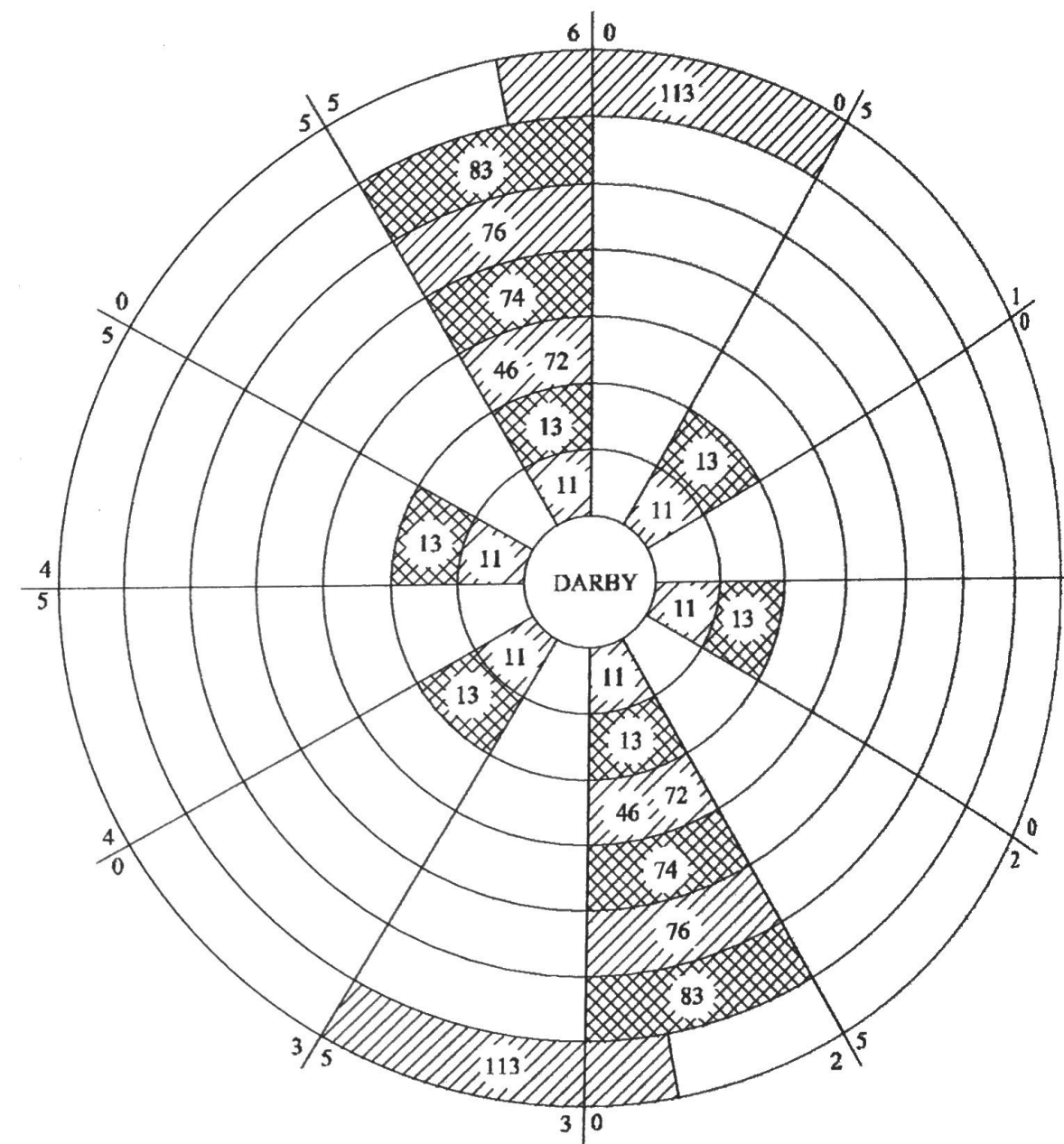
Transferts

Transferts avec horaires cadencés

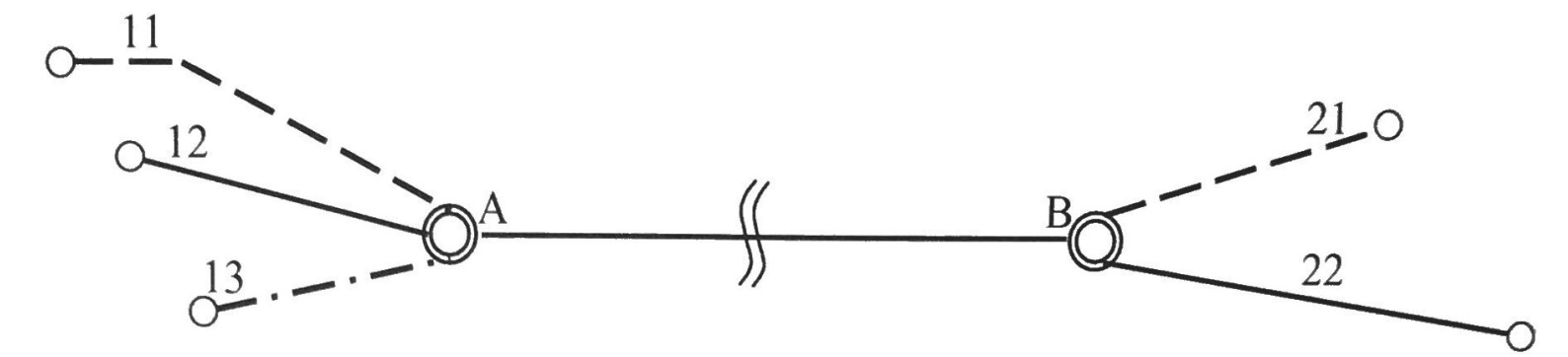
TTS (Timed Transfer System)



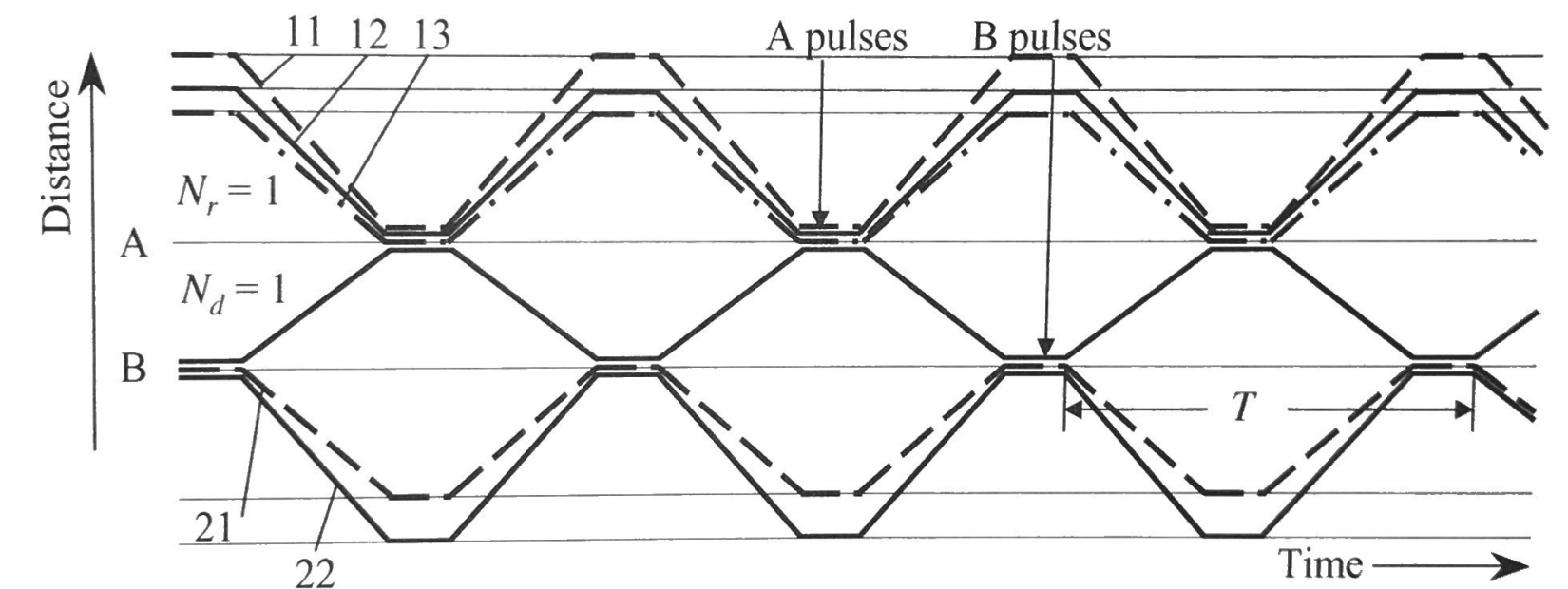
(a)



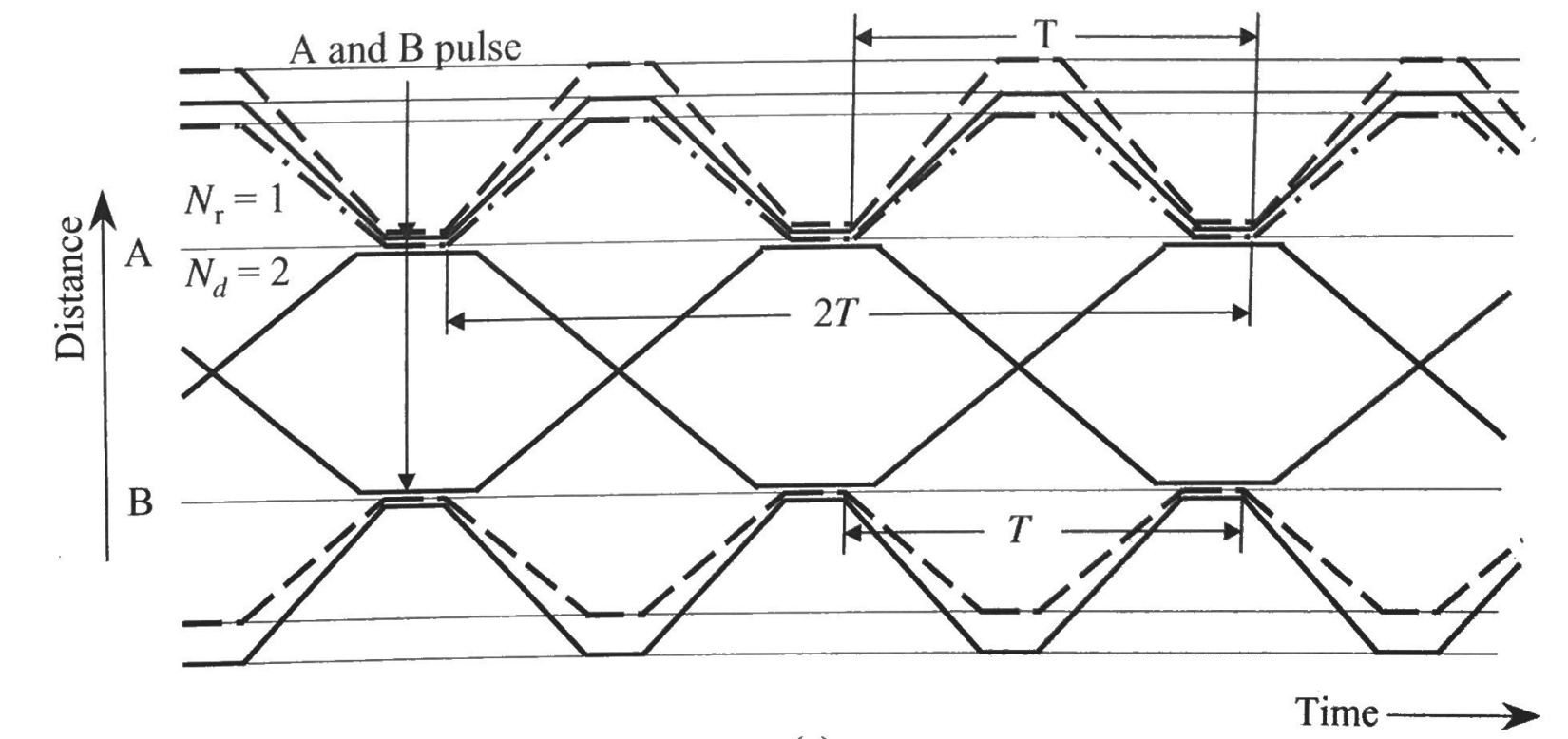
(b)



(a)



(b)



(c)

Figure 4.22 Concepts of staggered and simultaneous pulsing in a bifocal network: (a) layout: connector and radials; (b) staggered pulsing between A and B focal points; (c) simultaneous pulsing at A and B focal points.

Figure 4.24 Clock-type diagrams showing two types of line schedules at a transit center: (a) independent line schedules; (b) TTS schedule.

Transferts

Transferts avec horaires cadencés

TTS (Timed Transfer System)

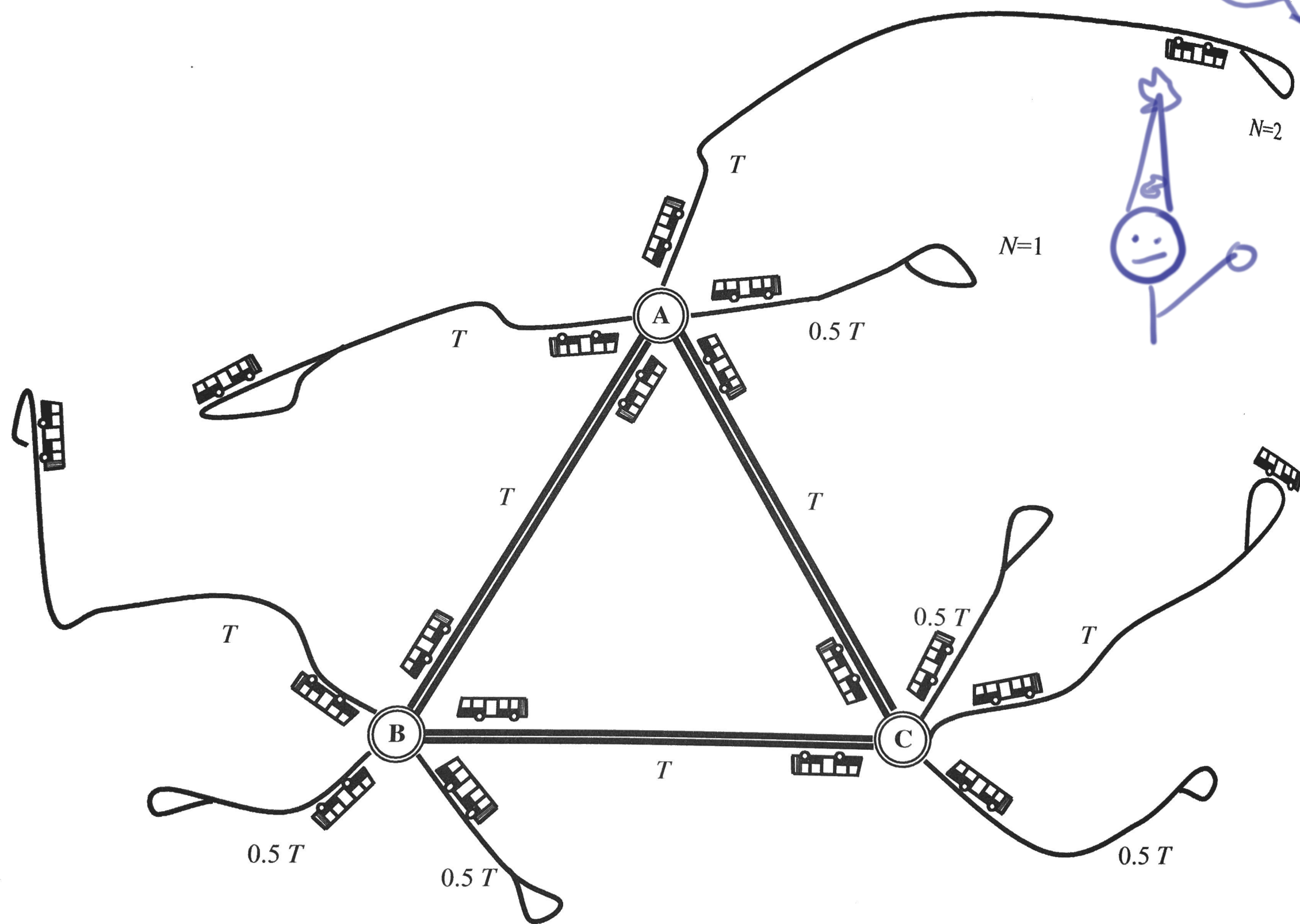


Figure 4.23 Triangular TTS network with simultaneous pulsing.



Figure 4.23:

C'est simplement pour montrer un TTS à 3 points focaux. Certaines lignes prennent 2 fois moins de temps ($0.5T$) et peuvent donc opérer avec 1 seul bus. Mais comme toutes les lignes ont un temps de cycle de $0.5T$ ou T , on peut toutes les synchroniser aux stations du triangle central. Tous les bus arrivent et repartent en même temps. Par exemple si $T = 13$ min, avec un t_s de 2 min, l'intervalle sur toutes les lignes est donc $h_p = 15$ min. Si $T = 28$ minutes, il faudra doubler la flotte de chaque ligne pour conserver $h_p = 15$ min. Ou bien on réduit la fréquence ($h_p = 30$ min).

Transferts

Transferts avec horaires cadencés

TTS (Timed Transfer System)

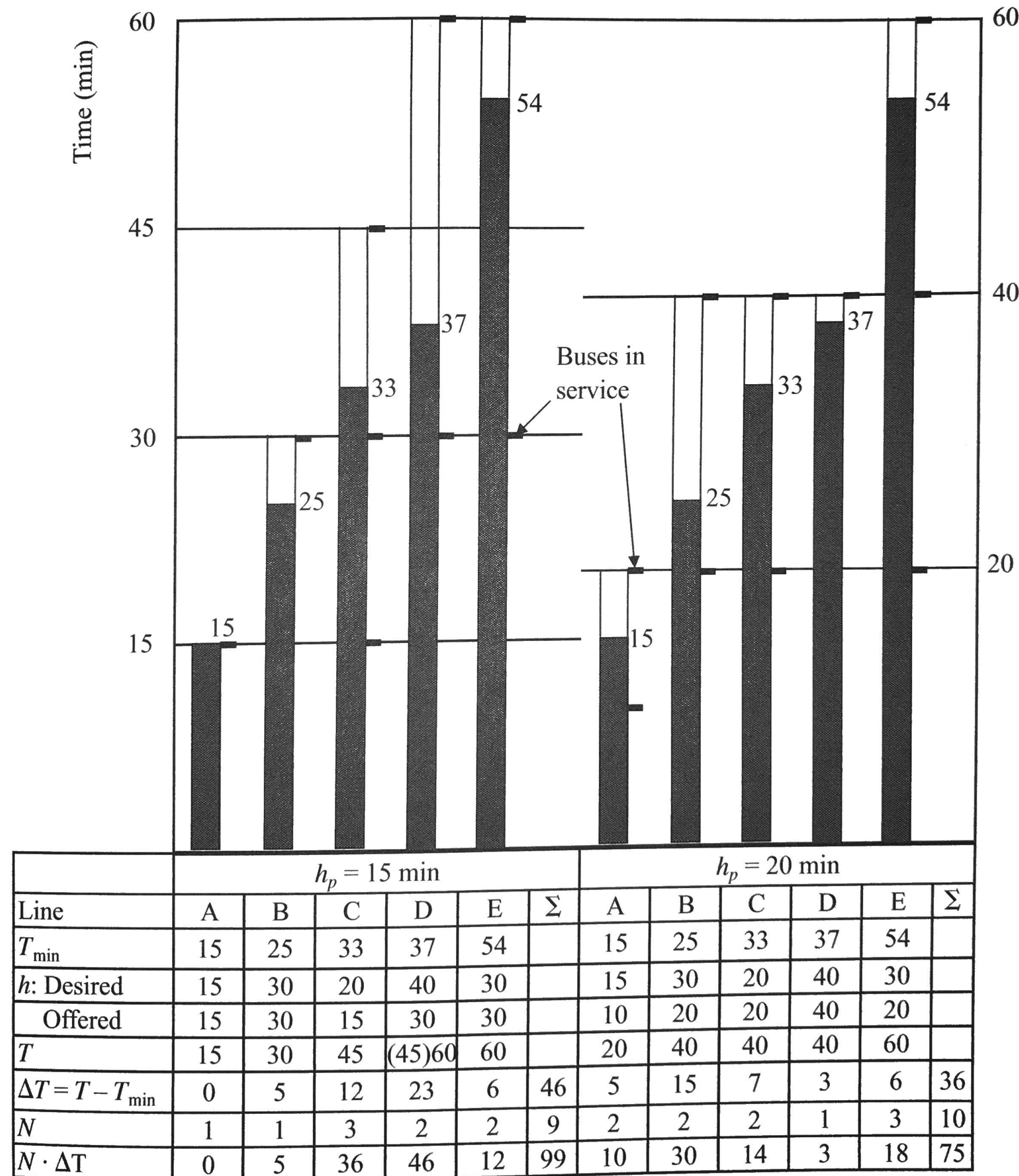


Figure 4.20 Planning a five-line TTS for pulse headways of 15 and 20 minutes.

Figure 4.20 montre l'effet causé par le choix de h_p sur les temps de battement, et, par extension, sur le nombre de véhicules requis (N) et l'intervalle de chaque ligne. Par rapport à un h_p de 15 min, un h_p de 20 minutes offre une meilleure fréquence ($h \downarrow$) sur les lignes A, B et E, mais une moins bonne sur les lignes C et D. ΔT représente le temps de battement ajouté pour permettre au TTS de fonctionner. Un h_p de 20 min réduit le ΔT total de 99 à 75 min, mais nécessite un véhicule de plus. Cela démontre que l'effet du h_p choisi n'est pas toujours évident et représente toujours un compromis qui dépend des temps de parcours de chaque ligne. Modifier la géométrie des lignes peut aussi aider.



Transferts

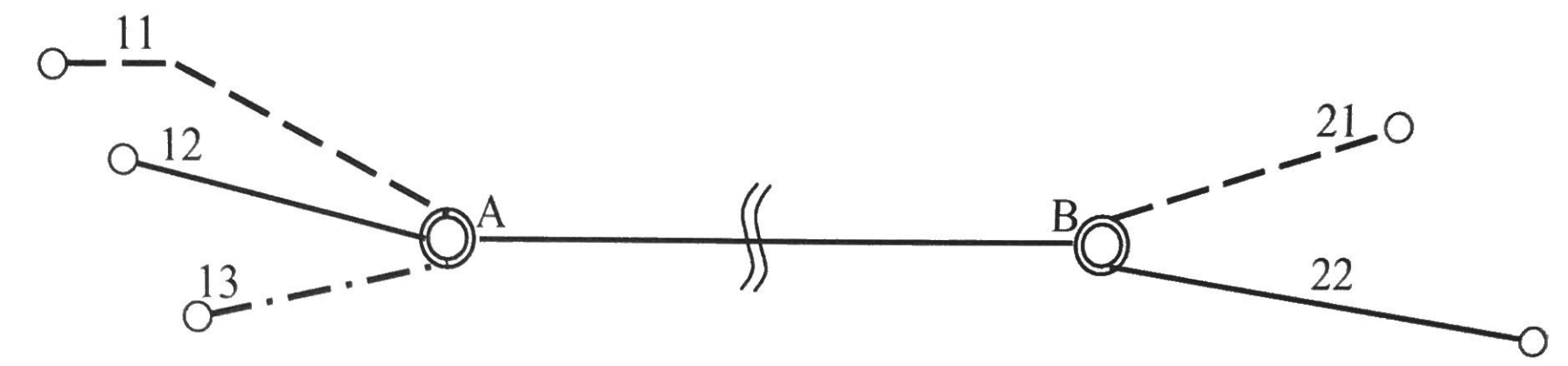
Transferts avec horaires cadencés

TTS (Timed Transfer System)

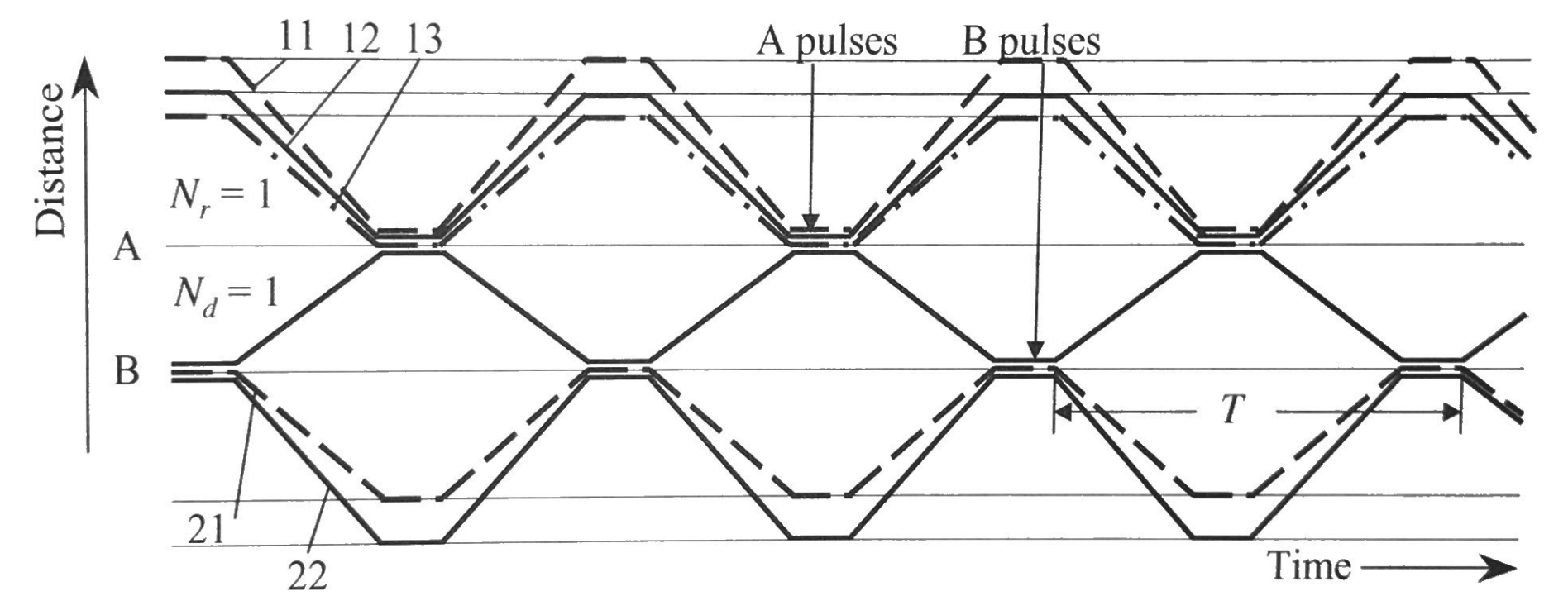


Figure 4.22 montre le diagramme distance-temps d'un TTS bifocal dont les lignes sont montrées en a). En b), le TTS fonctionne en alternance à A et B. Par exemple les véhicules arrivent en A à :00, :20 et :40 et en B à :10, :30 et :50. En c) les heures de pulsation sont les mêmes en A qu'en B (pulsation simultanée)

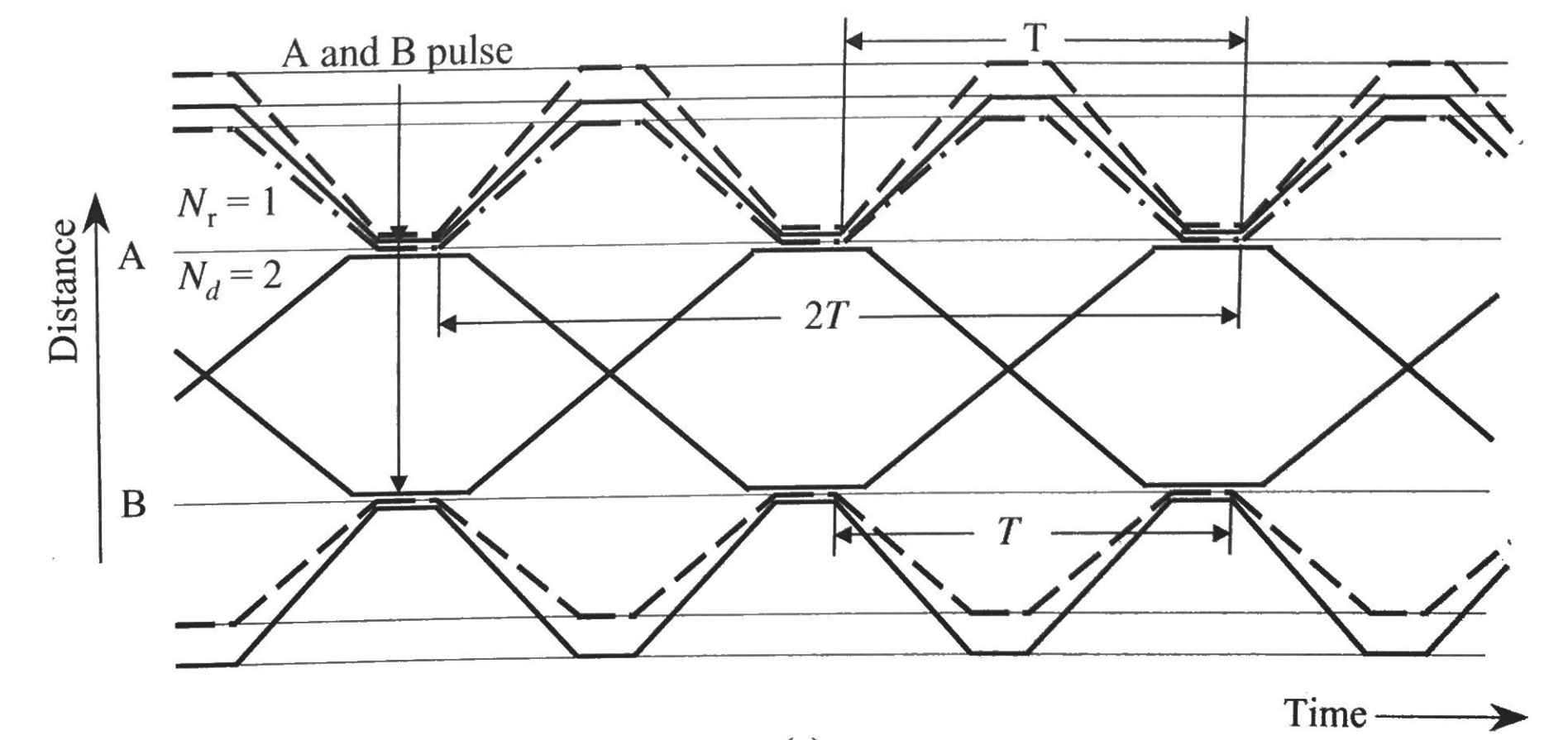
C'est comme une fréquence harmonique!



(a)



(b)



(c)

Figure 4.22 Concepts of staggered and simultaneous pulsing in a bifocal network: (a) layout: connector and radials; (b) staggered pulsing between A and B focal points; (c) simultaneous pulsing at A and B focal points.

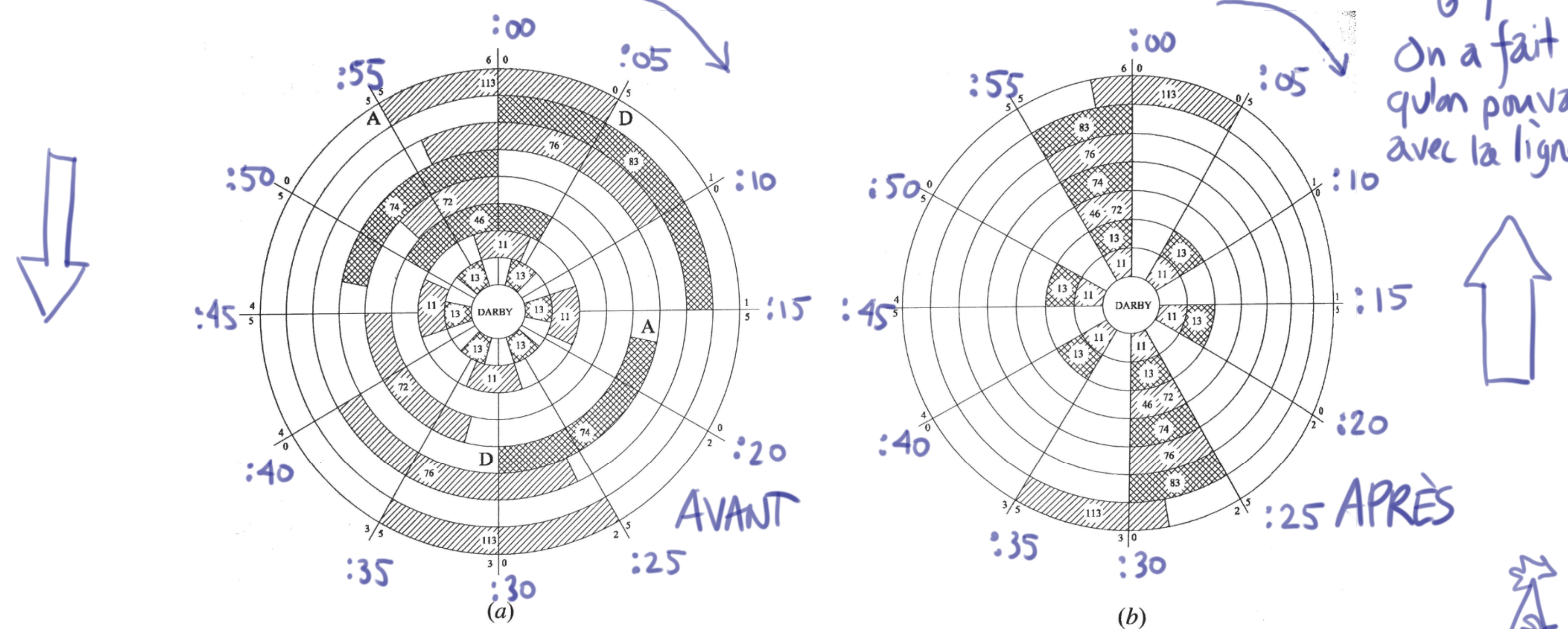
Transferts

Transferts avec horaires cadencés

TTS (Timed Transfer System)



Ici, on montre un schéma avant-après l'implantation d'un TTS.
Les transferts de 2 lignes de tramway (11 et 13) et 6 lignes de bus (46, 72, 74, 76, 83 et 113) ont été optimisés à Philadelphie à une station (Darby):

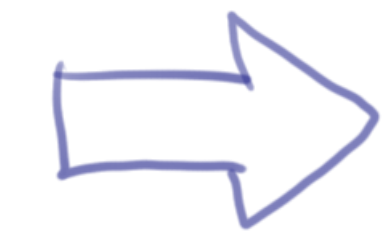


On a fait ce qu'on pouvait avec la ligne 113.

Figure 4.24 Clock-type diagrams showing two types of line schedules at a transit center: (a) independent line schedules; (b) TTS schedule.



Le diagramme montre les arrivées et départs de chaque passage de chaque ligne pendant une heure. Exemple: la ligne 72 arrive à :32 et repart à :45 puis arrive à :52 et repart à :00.



En b), on a synchronisé presque toutes les lignes. Les transferts entre le tramway et 5 lignes de bus sont assurés entre :55 et :00 et :25 et :30.



Réseau idéal

- **Service dans tous les corridors de grand volume**
- **Connexions directes (sans transfert) entre les grands générateurs**
- **Au moins une station près de chaque grand générateur**
- **Couverture adéquate dans les banlieues proches**
- **Sections de lignes raisonnablement équilibrées (profils de charge)**
- **Bonne connectivité, maximum de 1 transfert sur les lignes de désir importantes**
- **Transferts faciles intramodaux et intermodaux**
- **Bonne couverture pour les déplacements qui ne vont pas au centre-ville**
- **TTS multifocaux lorsque possible, surtout entre les grands générateurs**
- **Intervalle max de 15 minutes, 5 minutes sur les corridors principaux**
- **Alternatives plausibles pour chaque déplacement (robustesse et flexibilité selon besoins et désirs de l'utilisateur)**