

# Technologies des transports Transport des personnes

**Modes publics et privés** | Partie 2  
**CIV6707A** • Modes sur rails

Par Pierre-Léo Bourbonnais

Référence principale: VUCHIC, Vukan R. *Urban Transit Systems and Technology*, 2007

Chapitres 2 & 5 à 10

# Table des matières

## Modes sur rail

- Avantages et inconvénients
- Tramways
- SLR/*LRT* et SRLR/*LRRT*
- Métros et SRR/*RRT*
- Trains régionaux
- Tram-train
- Comparaisons
- Véhicules
  - longueur des trains & arrangements
  - extérieur
  - plancher bas (35, 70 et 100 %)
  - intérieur
  - design
- Emprises (tramways et SLR)
- Infrastructures aériennes (Métros SRR)
- Infrastructures souterraines (Métros SRR)
- Métros sur pneus
- Stations
- Automatisation
- Impacts
- Coûts
- Tendances et rôle futur
- Interurbain: TGV

# Modes sur rail

## Avantages et inconvénients des systèmes sur rail

- ▶ **Simplicité & sécurité du mécanisme de changement de direction**
- ▶ **Très faible résistance de roulement (~ 10 x moins que sur pneus) ⇒ consommation d'énergie / tonne la plus faible de toutes les technologies de transport collectif**
- ▶ **Permet des grandes vitesses sécuritaires (TGV)**
- ▶ **Durabilité de l'infrastructure/rails (maintenance ↓)**
- ▶ **Peut faire face à des conditions météorologiques variées (plus que les véhicules sur pneus)**

Ex: neige, pluie, glace



- ▶ **Déplacements les plus stables et les plus confortables**
- ▶ **Les trains de nouvelle génération sont beaucoup plus silencieux**
- ▶ **Propulsion électrique éprouvée et efficace**
- ▶ **Image positive et qualité de service ↑**

- ▶ **Coûts d'investissement élevés (mais moins que les AGT / Maglev, etc.)**
- ▶ **Coefficient d'adhésion faible ⇒ pentes relativement faibles et longues distances de freinage (il faut sécuriser l'emprise)**
- ▶ **Bruyant dans les virages très serrés**
- ▶ **Manque de flexibilité en catégorie C (voies partagées: tramways sur rue)**

### Effets de l'ajout de services sur rail dans une ville

(Étude de Pushkarev & Zupan, 1982)

- ▶ Les modes sur rail augmentent le nombre de déplacements par personne en transport collectif, ils ne les remplacent pas
- ▶ Le nombre de déplacements par bus demeure le même ou augmente!
- ▶ Les infrastructures sur rail influencent le développement urbain
- ▶ Le rail attire l'expertise en transport: un + pour la planification

# Modes sur rail

## Les tramways (*streetcars*)

### Caractéristiques

- ▶ 1, 2 ou 3 voitures formant une unité
- ▶ catégorie C sur 60 et 100% de la distance (voies partagées)
- ▶ caractéristiques dynamiques, fiabilité et économie d'énergie excellentes **mais**: dépendent de l'implantation et de l'environnement urbain (largeur des voies partagées, quantité de circulation sur l'axe, etc.)
- ▶ standard: longueur de 14 à 21 m
  - ▶ 100 à 180 passagers dont 20 à 40 % assis
- ▶ les plus longs (nouvelle tendance): plus de 20 m, 5 à 7 voitures par unité
  - ▶ jusqu'à 250 passagers
- ▶ vitesses d'opérations entre 12 et 20 km/h
- ▶ de plus en plus à plancher bas
- ▶ confortables
- ▶ image distincte positive
- ▶ coûtent cher sur les axes peu achalandés

Tramway de marchandises  
Dresden (Volkswagen)



Tramway de Reims



Tramway de Bordeaux



### Développement

- ▶ souvent convertis en SLR/LRT pour réduire l'influence de la circulation sur la fiabilité (→ catégorie B, A)
- ▶ **chevauchements entre tramways et SLR**
- ▶ depuis 1990: **renaissance** même aux États-Unis
  - ▶ 3 catégories de redéveloppement:
    - ▶ en catégorie C ou sur des rues piétonnes dans les centres-villes, pour le tourisme, navettes, etc.
    - ▶ lignes un peu plus longues sur les corridors commerciaux
    - ▶ lignes très longues sur plusieurs km: transport de grands volumes des personnes



Tramway de Bordeaux

# Modes sur rail

## Les systèmes légers sur rail SLR/LRT

### Caractéristiques

- ▶ catégorie B ou A sur 40 à 90% de la distance
- ▶ préférablement en tunnel aux endroits à forte congestion
- ▶ jusqu'à 20 000 usagers/h
- ▶ traction électrique
- ▶ véhicules silencieux
- ▶ qualité de roulement, confort ↑
- ▶ vitesse maximale entre 60 et 120 km/h
- ▶ vitesse d'opération entre 18 et 50 km/h
- ▶ accélérations douces mais élevées possibles (entre 1 et 2 m/s<sup>2</sup>) | urgences: 3 m/s<sup>2</sup>
- ▶ jusqu'à 350 passagers dont 20 à 50 % assis (les trains peuvent être attachés)
- ▶ grande variété de modèles disponibles
- ▶ basses ou hautes plate-formes
- ▶ plancher bas 35, 70 ou 100 %
- ▶ partent souvent des P+R, K+R

### Système rapide léger sur rail SRLR / LRRT

- ▶ haute performance
- ▶ catégorie A
- ▶ vitesse ↑ (vitesses d'opération jusqu'à 60 km/h)
- ▶ hybride entre SLR et métro
- ▶ automatisation possible



# Modes sur rail

## Métros et systèmes rapides sur rail SRR/RRT



Métro d'Istanbul (par Cem K.)

### Caractéristiques

- ▶ le mode collectif optimal en terme de capacité et de niveau de service
- ▶ confort, fiabilité, sécurité excellents (implantations récentes)
- ▶ productivité de main d'œuvre ↑
- ▶ embarquements et débarquements rapides (3 à 5 × SLR, 10 à 20 × bus)
- ▶ facile à automatiser
- ▶ coût d'investissement ↑↑ (catégorie A en tunnel ou aérien, stations de grande taille)
  - ▶ pertinent pour les corridors les plus achalandés
  - ▶ mais: SRR = de loin **le plus bas coût par passager transporté**
- ▶ de 1 à 10 voitures (wagons) par train (unité)
- ▶ haute plate-forme souvent
- ▶ de 120 à 250 passagers par voiture dont 25 à 60% assis



U-Bahn de Berlin (par bindonlane)



U-Bahn de Munich (par mayhem)

- ▶ vitesses d'opération entre 25 et 60 km/h
- ▶ heure de pointe: de 20 à 40 trains/h
- ▶ **jusqu'à 62 000 passagers/h** par voie (New York)
- ▶ catégorie A à 100%
  - ▶ en tunnel dans les centres urbains
  - ▶ aériens à certains endroits
  - ▶ quelquefois au niveau du sol si service en périphérie
- ▶ utilisé avec P+R, K+R et de plus en plus avec le vélo
- ▶ déplacement typique sur SRR: entre 5 et 10 km
- ▶ sur pneus dans certaines villes (modèle parisien: Montréal)

# Modes sur rail

## Trains régionaux

### Caractéristiques

- ▶ traction électrique ou diesel
- ▶ voitures larges et spacieuses (certaines à deux étages)
- ▶ excellent confort (en principe)
- ▶ service de périphérie (trains de banlieue)
- ▶ P+R, K+R
- ▶ on peut les combiner avec des axes de service interurbain
- ▶ service en pointe surtout (directionnel) mais certaines villes possèdent un excellent service toute la journée et la fin de semaine
- ▶ trajets plus long (35 km en moyenne aux É.-U.)
- ▶ tendance actuelle: **intégration aux réseaux de métros SRR/RRT** pour offrir le même niveau de service (ex: RER, S-Bahn, etc.)
- ▶ % de sièges plus élevé que les autres modes sur rail
  - ▶ jusqu'à 128 sièges par voiture (wagon)
  - ▶ jusqu'à 185 sièges par voiture sur 2 étages



Thurbo: trains régionaux suisses (par ponte1112)

- ▶ vitesses d'opération entre 30 et 75 km/h (vitesses maximales atteignant 130 km/h)
- ▶ productivité de main d'œuvre exceptionnelle avec les systèmes de perception automatisés
- ▶ souvent sous-utilisés
- ▶ même les systèmes mal gérés et sous-financés produisent un service convenable (!)
- ▶ potentiel excellent d'accroître les services de transport collectif en périphérie des villes
- ▶ les services traversant les centres-villes sont les plus efficaces (trains régionaux au lieu de trains de banlieue > voir cours 1 | Historique des trains régionaux et trains de banlieue)



Nouveau modèle de S-Bahn pour Zürich (par Kecko)



# Modes sur rail

## Tram-train

### Caractéristiques

- ▶ véhicules pouvant utiliser les réseaux de tramway et de trains régionaux (double voltage)
- ▶ Karlsruhe, Allemagne: 30 à 60% ↑ achalandage sur les lignes auparavant desservies par des trains régionaux
- ▶ catégorie C et/ou B au centre-ville, puis A en périphérie
- ▶ règles trop strictes en Amérique du Nord pour son implantation immédiate (sauf exceptions)
  - ▶ pourtant, des systèmes de sécurité électroniques évitant les conflits entre trains sont éprouvés et fonctionnels en Europe



Metrorail à Austin (É.-U.) 2010 (par Michlaovic)



Ligne T4 à Paris (par Oxi Hartog)



# Modes sur rail

## Comparaisons

**Table 6.1** Technical, operational, and system characteristics of rail transit modes<sup>a</sup>

	<i>Streetcar / Tramway</i>	<i>Light Rail Transit</i>	<i>Rapid Transit</i>	<i>Regional Rail</i>
<b>Vehicle/train characteristics</b>				
Minimum operational unit	1	1 (4 to 10 axles)	1–3	1–3
Maximum train consist	3	2–4 (6 to 8 axles)	4–10	4–10
Vehicle length (m)	14–35	14–54	15–23	20–26
Floor height	Low/high	Low/high	High	High/low
● Vehicle capacity (seats per vehicle)	22–40	25–80	32–84	80–175
● Vehicle capacity (total spaces per vehicle)	100–250	110–350	140–280	140–210
<b>Fixed facilities</b>				
● Exclusive ROW (% of length)	0–40 <b>B C</b>	40–90 <b>A B</b>	100 <b>A</b>	100 <b>A</b>
Vehicle control	Manual/visual	Manual/signal	Signal/ATC	Signal
Fare collection: self-service or:	On vehicle	On vehicle/at station	At station	At station/on vehicle
Power supply	Overhead	Overhead	Third rail/overhead	Overhead/third rail/diesel
<b>Stations</b>				
Platform height	Low	Low or high	High	High or low
Access control	None	None or full	Full	None or full
<b>Operational characteristics</b>				
● Maximum speed (km/h)	60–70	60–120	80–120	80–130
● Operating speed (km/h)	12–20	18–50	25–60	40–75
● Maximum frequency				
Peak hour, joint section (TU/h)	60–120	40–90	20–40	10–30
Off-peak, single line (TU/h)	5–12	5–12	5–12	1–6
● Capacity (prs/h)	4000–15,000	6000–20,000	10,000–60,000	8000–45,000
Reliability	● Low-medium	● High	● Very high	● Very high
<b>System aspects</b>				
● Network and area coverage	Extensive, good coverage	Good CBD coverage, Branching common	Predominantly radial: good CBD coverage	Radial, limited CBD but good suburban coverage
● Station spacing (m)	250–500	350–1600	500–2000	1200–7000
● Average trip length	Short to medium	Medium to long	Medium to long	Long
● Relationship to other modes in addition to walking	Can feed higher-capacity modes	P+R, K+R, Bus feeders	P+R, K+R, Bus & LRT feeders	Outlying: P+R, K+R, Bus feeders; center city: walk, bus, LRT, metro

+ vélo

VUCHIC, Vukan R. *Urban Transit Systems and Technology* | Tableau 6.1

<sup>a</sup>Listed are typical ranges of existing systems; exceptional values may be outside the ranges

# Modes sur rail

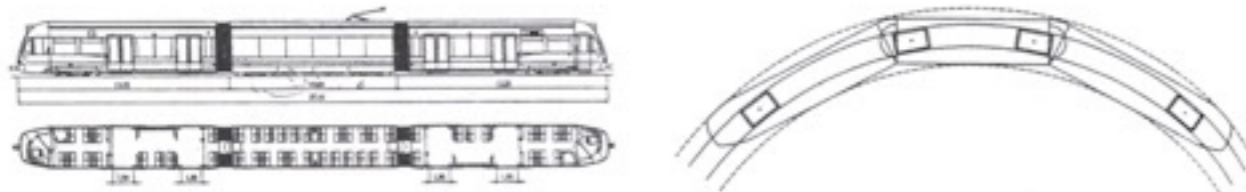
## Véhicules

### Longueur des trains et arrangements

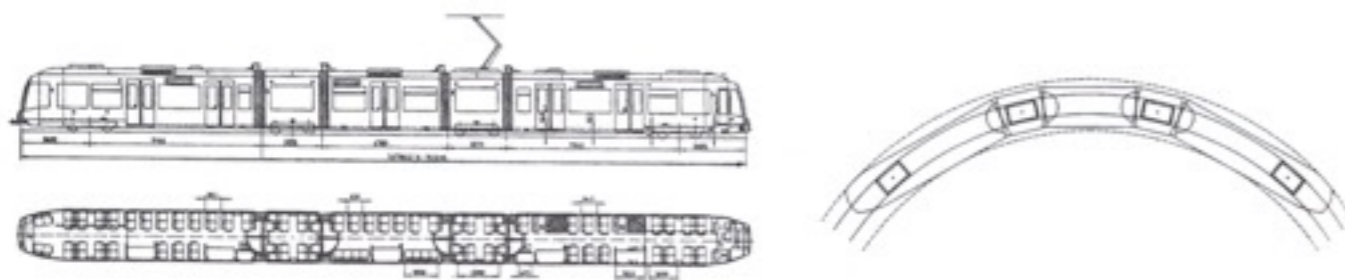
- plusieurs arrangements d'unités et d'essieux (surtout pour les tramways et SLR)



(a) 6-axle 70% low floor 28.40 m long car for Cologne, Croydon, Stockholm and Istanbul



(b) 8-axle 37.10 m long car for Saabrücken



(c) 8-axle 5-body 38.70 m long car for Karlsruhe

Figure 6.8 Selected models of contemporary LRT low-floor vehicles (Source: Girnao et al., 2000)

VUCHIC, Vukan R. *Urban Transit Systems and Technology* | Figure 6.8

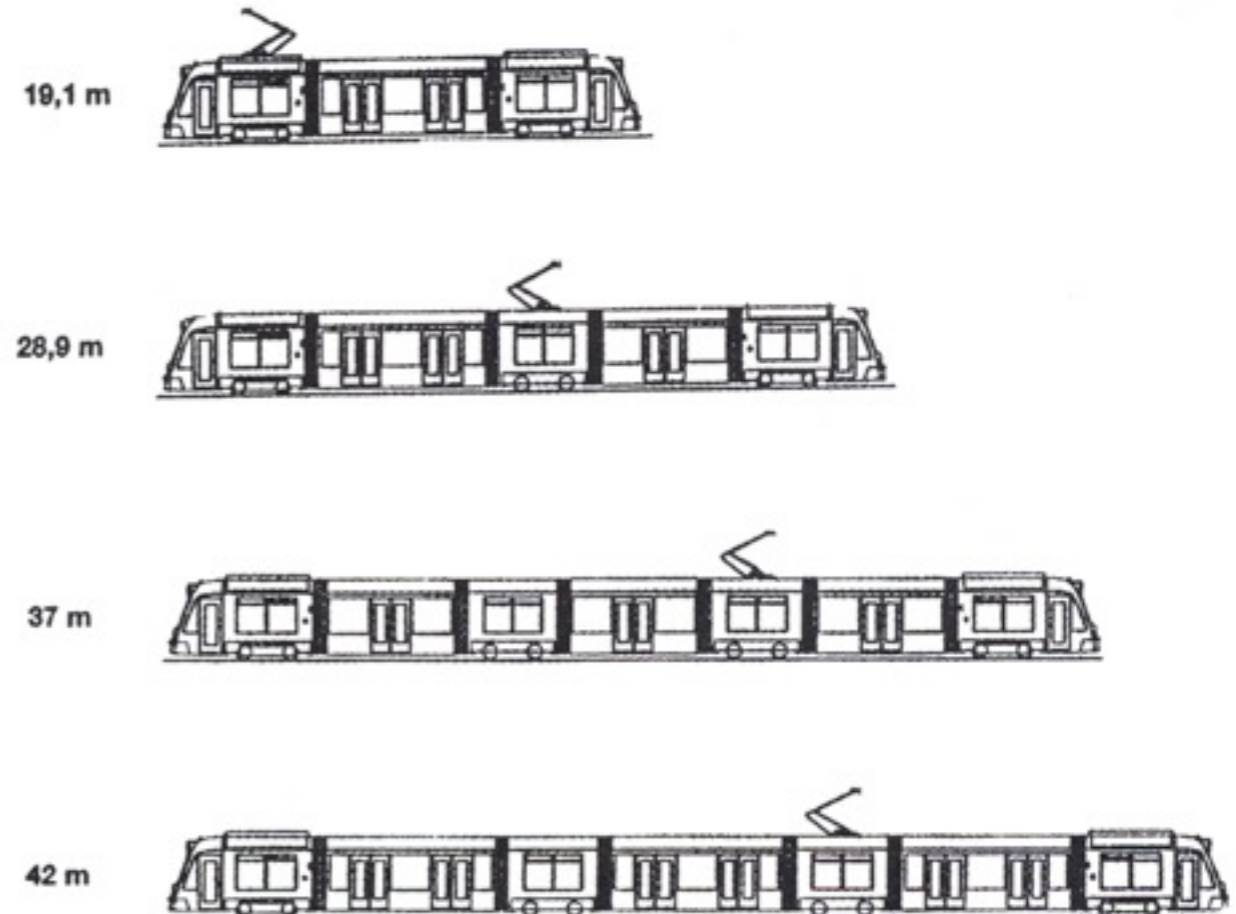


Figure 6.9 Modular design of three- to seven-section light rail vehicles (Source: Girnao et al., 2000)

VUCHIC, Vukan R. *Urban Transit Systems and Technology* | Figure 6.9

# Modes sur rail

## Véhicules

### Extérieur

- Facteurs influençant l'efficacité du service
  - design, maintenance, nombre et taille des **portes** (embarquement, débarquement)
  - fonctionnement des portes dans des conditions météorologiques extrêmes
  - **esthétique** du véhicule (essentiel pour attirer de nouvelles clientèles) | **souvent négligé**
  - **visibilité** pour le conducteur (surtout pour les tramways à conduite manuelle)
  - conception du devant du véhicule (personnalité, symbole pour la ville)
  - SRR/RRT et trains régionaux: **aérodynamique** en même temps qu'**esthétique** (pas nécessairement en conflit)
    - Amérique du Nord: **souvent négligé** à cause des sorties de secours aux extrémités du train
  - **fenêtres panoramiques** (vitre incassable pour contrer le vandalisme)



Métro de Tokyo: couleurs des lignes



Tramway Citadis (Alstom) Reims



Tramway (Bombardier) Marseille

- **peinture**: 3 méthodes
  - **aucune peinture** (gris métallique)
    - \$↓, mais moins attirant pour la clientèle
  - peinture de la **même couleur pour toutes les lignes**
    - identité du système dans son ensemble
  - peinture de **couleur différente pour chaque ligne**
    - facile pour les usagers de se retrouver
    - bon pour le « marketing »

# Modes sur rail

## Véhicules

### Plancher bas

- ▶ 35%
  - ▶ équipement de propulsion et de maintenance standards
  - ▶ **courte section à plancher bas** (manque d'espace pour les portes, sièges et chaises roulantes)
  - ▶ peu fabriqués aujourd'hui (souvent des mises à jour de voitures à haut plancher existantes)
- ▶ 70%
  - ▶ plancher à hauteur standard aux extrémités des voitures et marche vers le plancher bas sur la section centrale
  - ▶ seule la section centrale a un design non conventionnel
  - ▶ excellent compromis
  - ▶ une majorité d'utilisateurs préfèrent s'asseoir plus haut
  - ▶ accessibilité parfaitement adéquate
  - ▶ aucune limite de vitesse (ex: tram-train)
  - ▶ **moins d'essieux propulseurs que 35%** (sauf nouvelles technologies avec moteurs peu encombrants)
- ▶ 100%
  - ▶ accessibilité excellente
  - ▶ grand choix d'emplacement des portes
  - ▶ améliorations constantes
  - ▶ équipements sur le toit
  - ▶ comme sur les bus à plancher bas, **les roues et suspensions sont encombrantes**
  - ▶ design complexe (**maintenance ↑, \$↑**)
  - ▶ **vitesse limitée à 80 km/h**
  - ▶ **moins confortable** que les 70%



70%: plancher plus haut au-dessus des roues

100%: Roues plus petites et cachées

Alstom Citadis 402 | Paris 100% (Par P-L Bourbonnais)

# Modes sur rail Véhicules

## Intérieur

- Cabine de pilotage
  - **minimiser** l'espace de la cabine, mais doit demeurer confortable (5 à 10% de l'espace)
  - si automatisé: les **passagers peuvent voir en avant et derrière**
  - PATCO 1969 à Philadelphie: conducteur séparé seulement par une petite clôture comme dans un bus: permet aux passagers de voir en avant (attirant) et de sentir la présence réconfortante du conducteur (n'a pas été utilisé ailleurs alors que c'est une gestion intéressante de l'espace)
- Capacités et sièges
  - entre 0,35 et 0,55 m<sup>2</sup> par siège
  - difficile de réduire à moins de 0,2 m<sup>2</sup> par **passager debout** (prendre 0,25 m<sup>2</sup> comme valeur de calcul)
  - **équilibre places assises** (confortables, attirantes) et **places debout** (capacité ↑, confort ↓)
  - qualité de finition et matériel utilisé pour les sièges: dépend des longueurs de trajet surtout
  - rangées de sièges

Paris | Tram-Train T4  
(par Pline)



Capacité ↑↑, sièges longitudinaux | Métro de Hong Kong



Paris | Tram T3  
(par Maryanna)



2+3 | S-Bahn Thurbo, Suisse (par Kecko)



- 2+2 (capacité totale ↓)
- 2+1 (capacité totale moyenne)
- longitudinaux (moins attirants, mais capacité totale ↑)
- 2+3 dans les trains régionaux à wagons larges

# Modes sur rail

## Véhicules

### Design



Design innovateurs (attirer des nouveaux usagers versus capacité ↓)

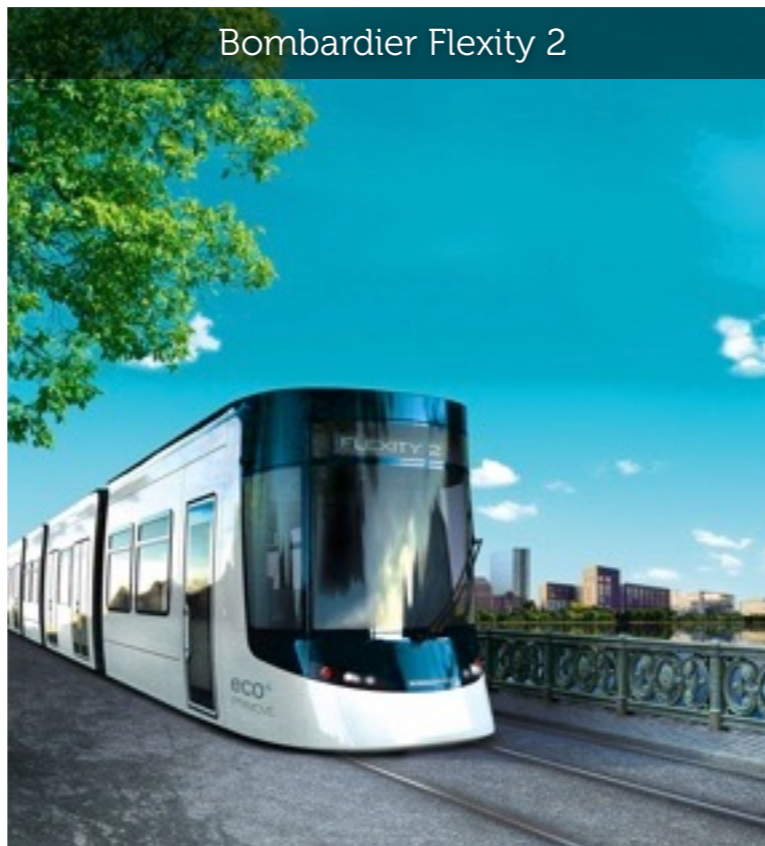


Dima Dadshev



Aménagement intérieur pour accommoder les vélos (Bombardier Flexity)

Bombardier Flexity 2



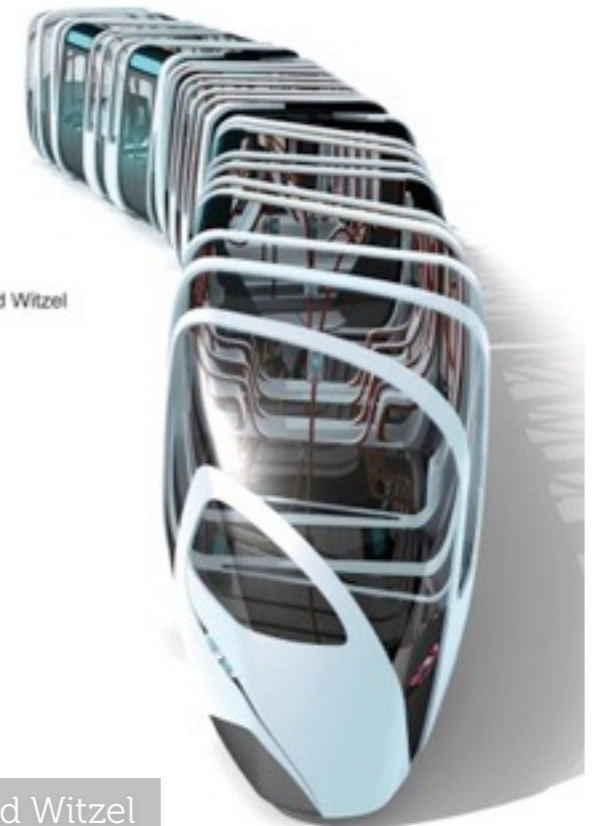
Patrik Petersson



Portafolio de Rodolfo Ciudad Witzel



Rodolfo Ciudad Witzel



# Modes sur rail Emprises

## Tramway et SLR | Position des voies sur la chaussée

► Catégorie B et C

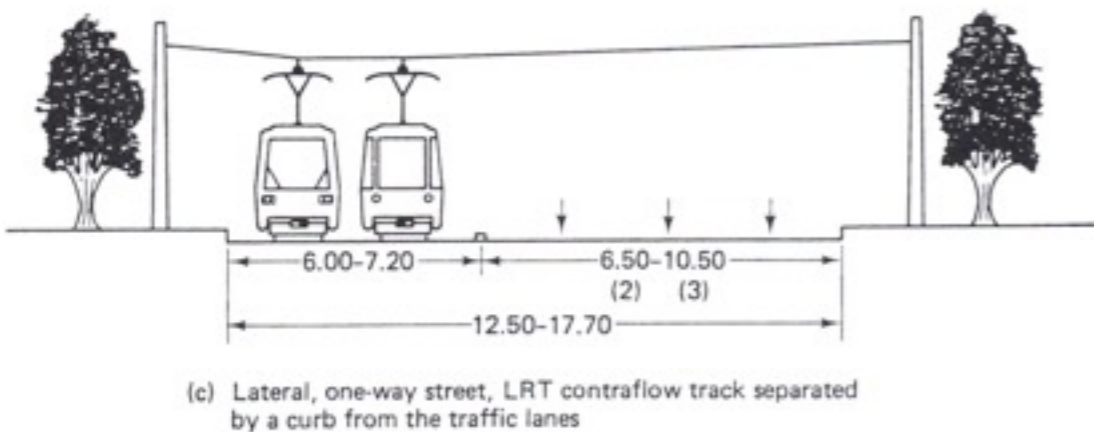
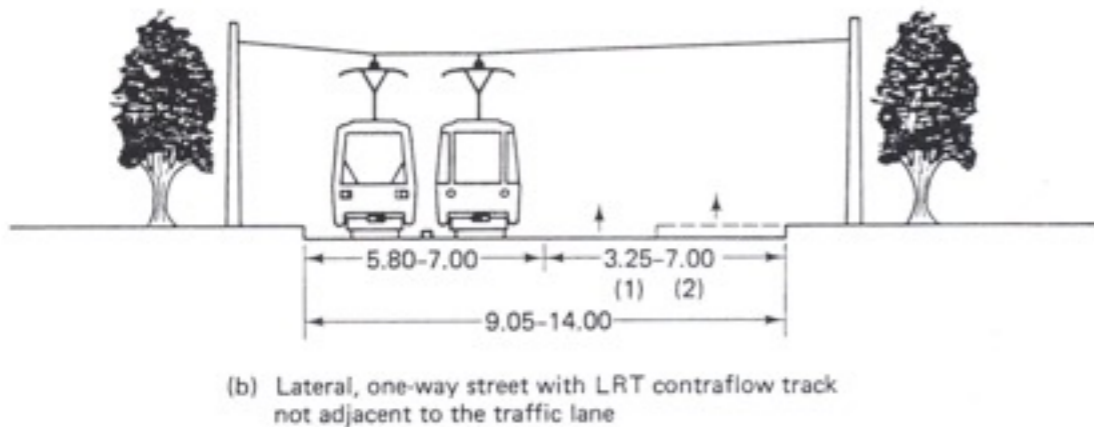
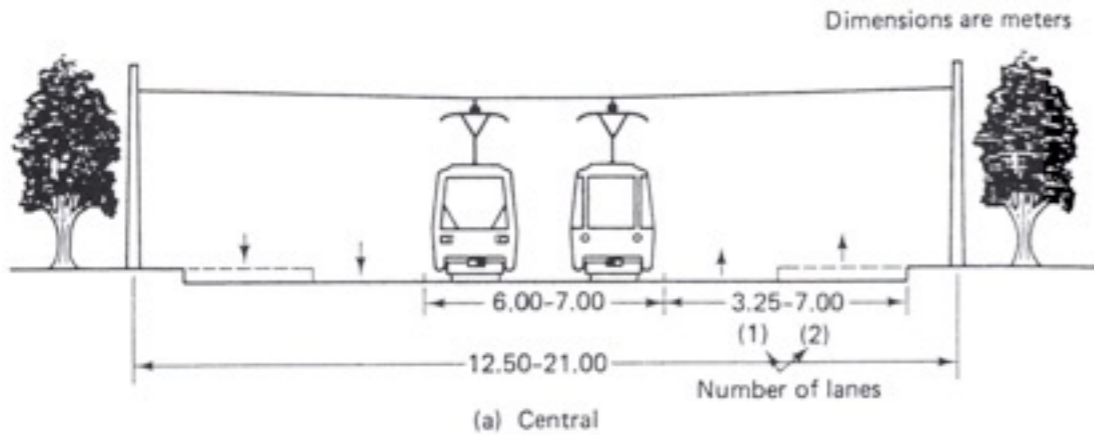


Figure 6.26 Different LRT track positions in street

► Catégorie B

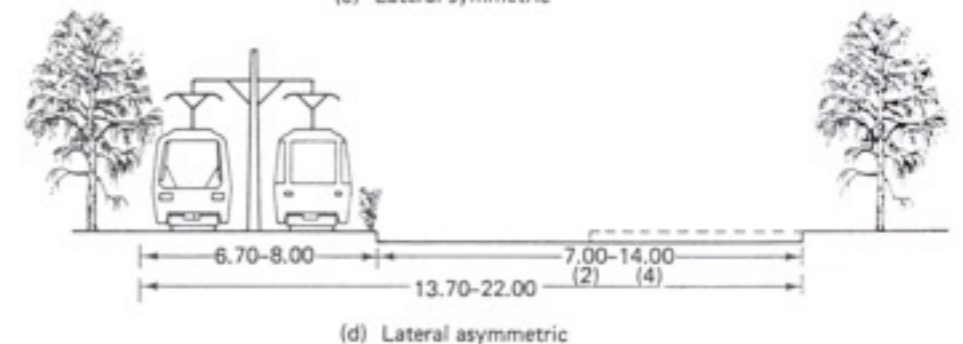
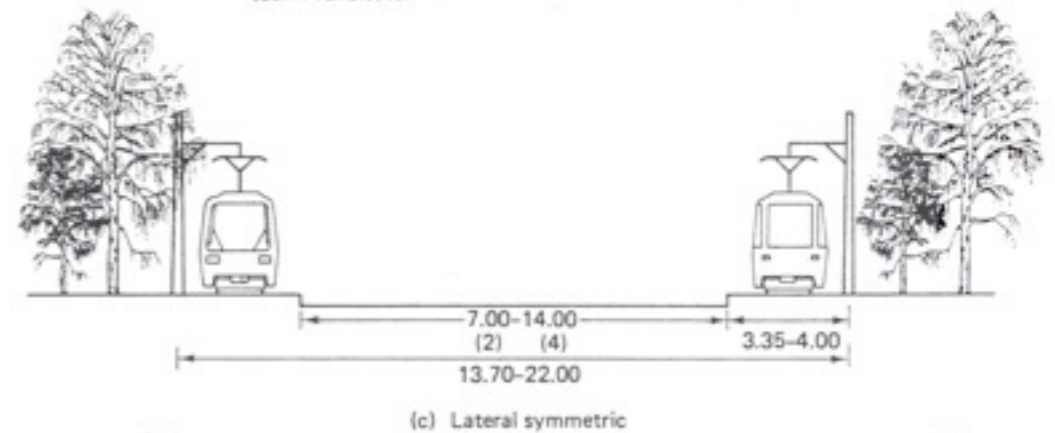
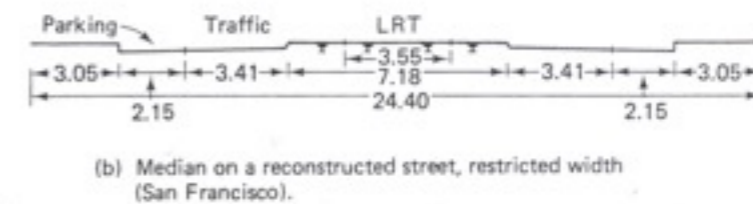
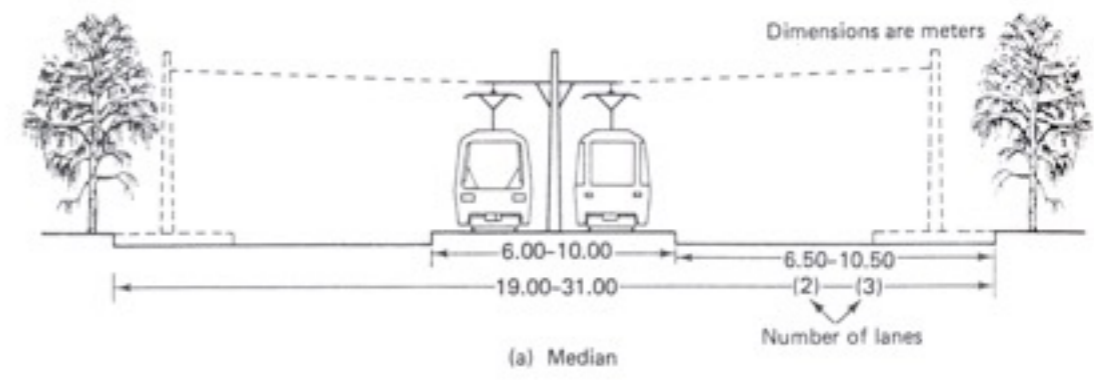


Figure 6.27 Curbed LRT rights-of-way

VUCHIC, Vukan R. Urban Transit Systems and Technology | Figures 6.26 & 6.27



# Modes sur rail Emprises

Tramway et SLR

## Géométrie des voies de circulation et de l'emprise Tramway

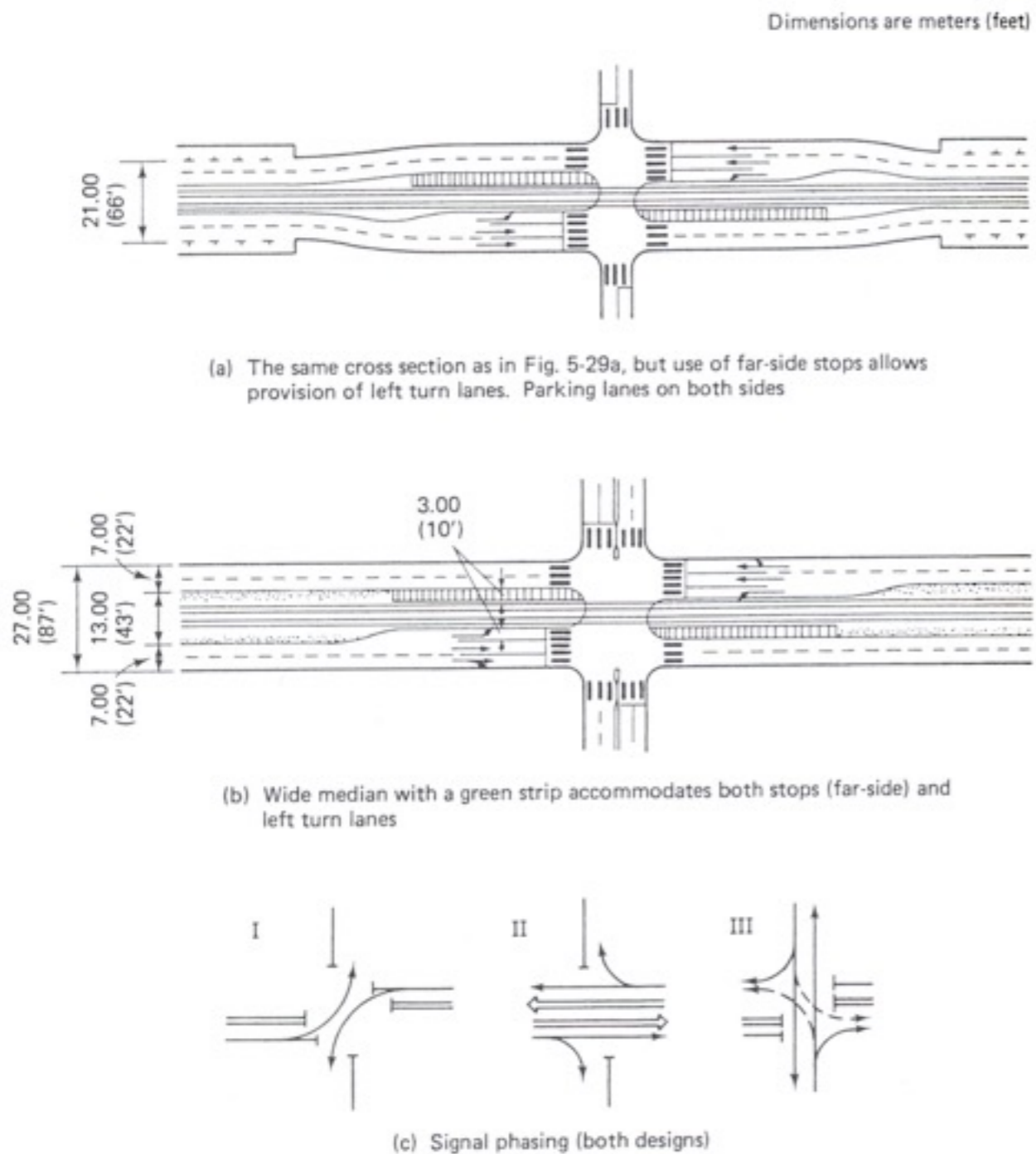


Figure 6.30 Design of intersection with LRT median, left turns accommodated

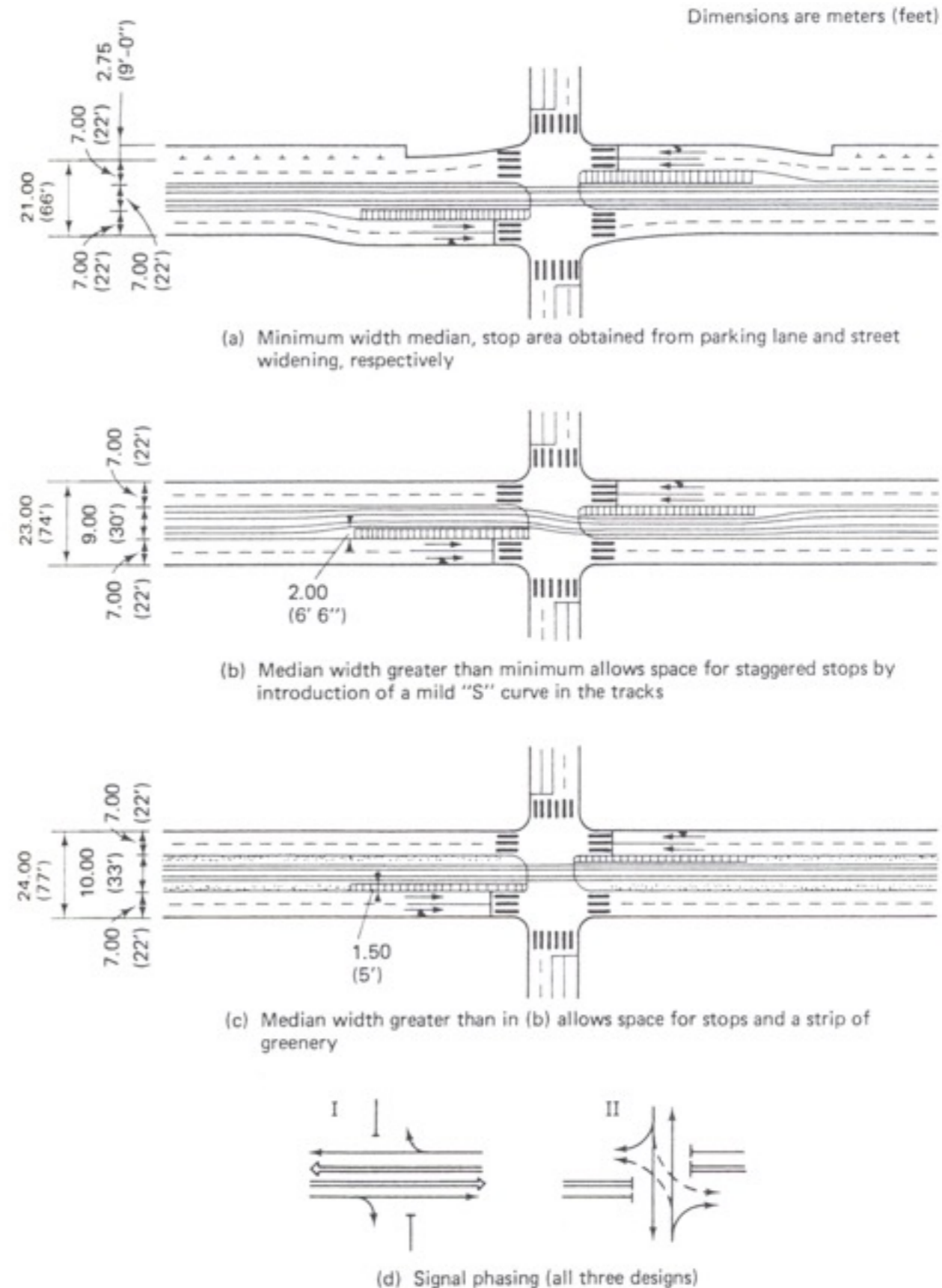


Figure 6.29 Design of intersection with LRT median, no left turns allowed

VUCHIC, Vukan R. Urban Transit Systems and Technology | Figures 6.29 & 6.30

# Modes sur rail

## Métros (SRR/RRT) | Infrastructures aériennes (catégorie A)

### Caractéristiques, avantages et inconvénients

- ▶ souvent la seule solution pour construire en zone urbaine dense et réduire les coûts
- ▶ infrastructures anciennes en fer/acier
  - ▶ problèmes esthétiques
  - ▶ bruyant
  - ▶ colonnes nombreuses
  - ▶ constructions en pierre: massives mais moins de problématiques
- ▶ nouvelles infrastructures
  - ▶ en béton précontraint
  - ▶ moins d'espace perdu (colonne centrale unique)
  - ▶ moins bruyant
  - ▶ beaucoup plus efficaces que les anciennes constructions
  - ▶ l'intégration au paysage/architecture doit être planifiée (ont une influence beaucoup plus grande sur l'environnement urbain que les tunnels)



# Modes sur rail

## Métros (SRR/RRT) | Infrastructures souterraines (catégorie A)

### Caractéristiques, avantages et inconvénients

- la solution optimale
- aucune interférence
- protection contre les intempéries
- impact environnemental faible
- fiabilité et sécurité ↑
- coût de construction ↑↑
- implantation longue
- 3 types de constructions
  - **peu profond**
    - planchers environ 20 m sous la surface
    - déplacement des équipements souterrains (aqueduc, électricité, gaz, etc.)
    - les plus accessibles (escaliers courts)
    - construits à partir de la rue
      - dérangement de la circulation lors de la construction
  - **profond**
    - jusqu'à 60 m sous la terre
    - construits par forage, indépendamment des réseaux routiers de surface
    - peu d'effet sur les infrastructures en surface
    - moins efficaces pour les courts trajets (longs escaliers)
    - faible accessibilité (personnes âgées, chaises roulantes, enfants, etc.)
    - véhicules moins larges (tunnel circulaire)
  - **par caissons**
    - sections préfabriquées
    - efficaces pour traverser les plans d'eau
    - Exemples: Amsterdam, BART, etc.

# Modes sur rail Métros sur pneus

## Caractéristiques, avantages et inconvénients

- ▶ technologie développée à Paris entre 1951 et 1956
- ▶ à cette époque, les alternatives sur rail étaient médiocres
- ▶ fonctionnement
  - ▶ les roues d'acier ne touchent pas le rail en temps normal (servent de support en cas de crevaison)
  - ▶ support des pneus en béton précontraint
  - ▶ petites roues à pneu sur les côtés pour le guidage
  - ▶ beaucoup plus complexe que les systèmes sur rail
- ▶ on voulait:
  - ▶ augmenter la vitesse avec une meilleure adhésion
  - ▶ réduire le bruit
  - ▶ obtenir des wagons moins lourds et moins cher
  - ▶ résultat: excellent, mais: développement du rail a continué en parallèle
- ▶ avantages et désavantages de la meilleure adhésion
  - ▶ possibilité de circuler sur des pentes, mais aucune ville qui en possède ne dépasse 7%, qui est sans problème pour le rail conventionnel
  - ▶ meilleure accélération, mais le rail est capable de fournir l'accélération maximale confortable pour les passagers et les décélérations d'urgence
  - ▶ sensibilité élevée à la pluie, la neige et la glace, ce qui limite les voies extérieures (à moins de chauffer les voies, comme sur la ligne 6 à Paris)
  - ▶ permet de réduire le nombre d'essieux moteurs (coûts d'investissements de locomotive ↓)
- ▶ bruit essentiellement le même que les systèmes sur rail actuels (sauf dans les virages très serrés)
- ▶ poids supposé moins élevé au début: il est maintenant comparable aux systèmes sur rail
- ▶ consommation d'énergie ↑↑
- ▶ coûts de maintenance ~ 20% plus élevés que le rail
- ▶ la chaleur produite par les pneus nécessite une ventilation plus puissante
- ▶ dans les années 60: moins cher, mais aujourd'hui, le coût global est plus élevé qu'avec le rail
- ▶ potentiel: utilisations spécifiques possibles (pentes élevées, réduction du bruit dans les virages serrés), mais sinon:



# Modes sur rail

## Stations

### Stations et arrêts de tramway en surface

- assurer la **sécurité** des passagers à l'aide d'**îlots protégés** si le tramway roule au centre de la chaussée
- les stations sur **rues piétonnes** sont **de plus en plus nombreuses** (vitesses modérées seulement)
- les stations de **transfert** (vers bus et/ou modes plus lourds) doivent **limiter les distances** d'accès
- voir Vuchic section 6.5 pour des exemples de configurations

### Stations à accès contrôlé

- pour métros, trains régionaux et certaines lignes de SLR/tramways
- **perception en station** pour limiter les temps d'embarquement (accès par toutes les portes)
- design de ces stations doivent suivre ces règles:
  - **temps et distances minimales entre les modes**

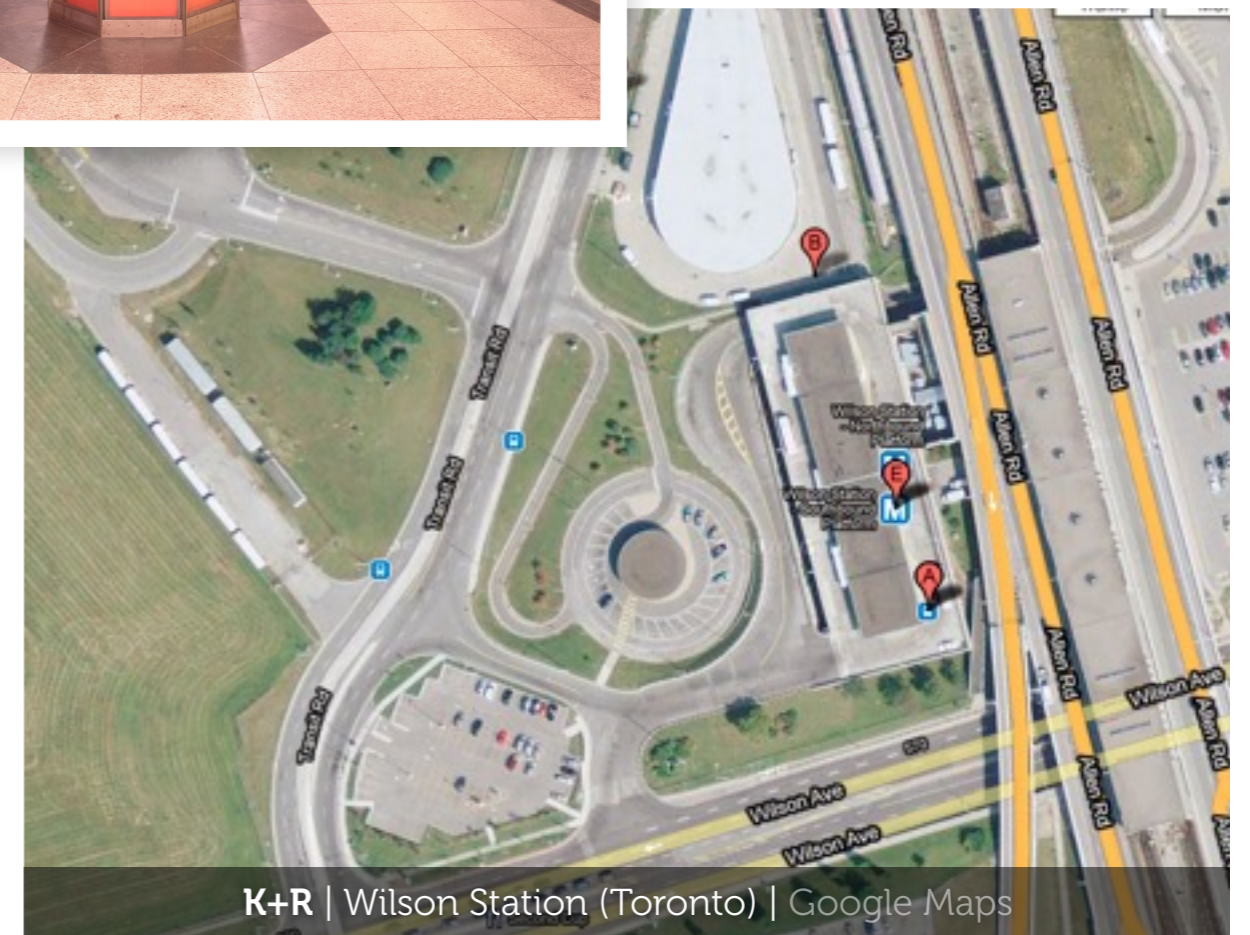
- **information** aux usagers pertinente et complète
- **accès facile** aux chaises roulantes et passagers en perte d'autonomie
- **protection adéquate**, sièges/bancs d'attente **confortables**
- **sécurité** (bonne visibilité en tout temps, surfaces nettes et adéquates pour éviter les accidents)
- prévoir les volumes de passagers maximum en pointe
- **bonne visibilité pour les agents en service** pour prévenir le vandalisme, la criminalité et assurer une supervision efficace
- assurer l'**intégration avec les espaces commerciaux et résidentiels** environnants
- l'**esthétique** des stations doit accroître l'image du système et attirer les nouveaux usagers

# Modes sur rail

## Stations

### Stations de métro et multimodales

- ▶ Plate-formes latérales
- ▶ Plate-formes centrales
  - ▶ largeur totale réduite
  - ▶ les services ne sont pas dédoublés sur les quais (coûts d'opération et de maintenance ↓)
  - ▶ supervision facilitée
  - ▶ facilité de changer de direction pour les passagers s'étant trompés
  - ▶ **coûts de construction plus élevés** pour accommoder les courbes en « S » aux sorties des stations
  - ▶ **impossible de diriger les flots de passagers** (pour des besoins de perception)
- ▶ Stations de transfert à 2 lignes
  - ▶ plusieurs configurations



- ▶ Stationnements P+R, K+R
  - ▶ doivent être étudiés avec soins
  - ▶ plusieurs configurations possibles

# Modes sur rail

## Stations

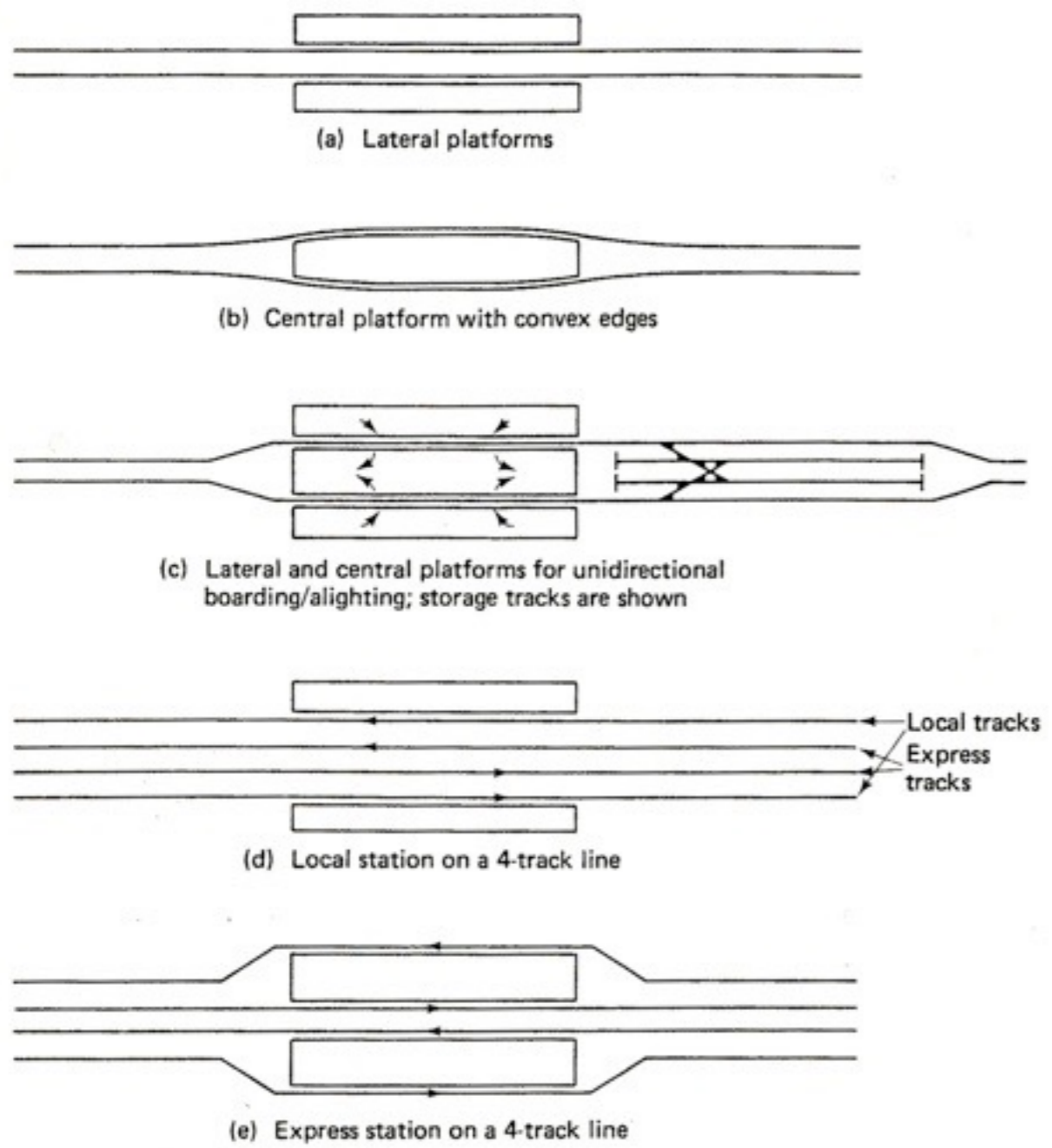


Figure 6.39 Single-line station platform types

VUCHIC, Vukan R. Urban Transit Systems and Technology | Figures 6.39 & 6.40

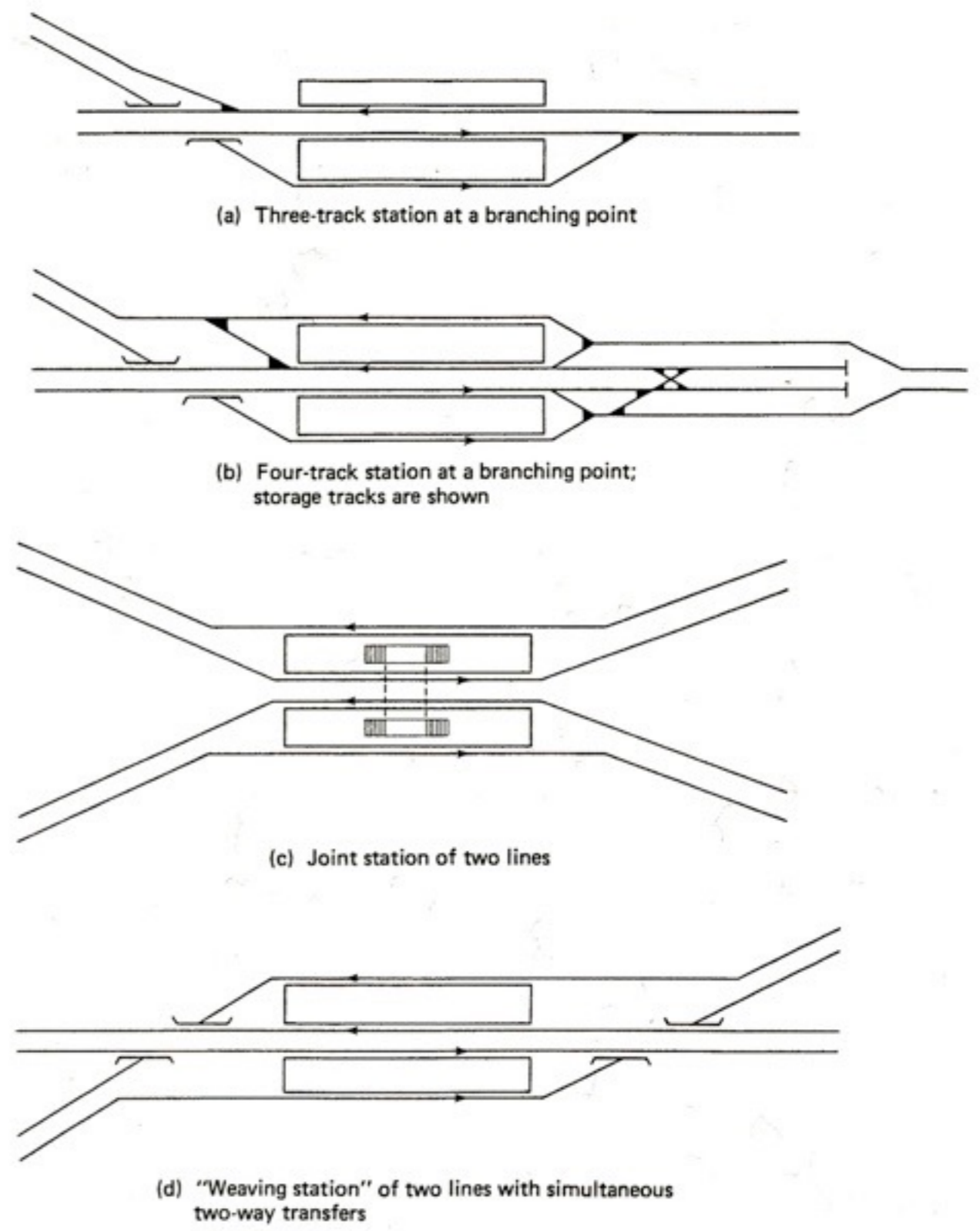


Figure 6.40 Platform arrangements for two-line station

# Modes sur rail

## Automatisation

### Contrôle des modes sur rail

- *Manuel/visuel*
  - le conducteur contrôle le train sans assistance
- *Manuel/signaux*
  - des signaux indiquent si la voie est libre
- *Opération automatique des trains*
  - le conducteur supervise les mouvements automatisés
  - catégorie A obligatoire
- *Conduite automatique sans conducteur*
  - aucun personnel de conduite à bord des véhicules
  - catégorie A obligatoire
  - supervision à partir d'un centre de contrôle

### Conduite automatique sans conducteur

- l'aboutissement d'un long développement au cours des années
- *planification intensive nécessaire*
- *coûts d'opération ↓*
- *efficacité et fiabilité ↑*
- *fréquences de passage, plages horaires élargies ↑*
  - *achalandage ↑*
  - *service en hors pointe moins coûteux*
- *synchronisation des lignes plus facile*
- *coûts d'investissement ↑*
- *complexité des systèmes ↑*
- *communication aux usagers en cas d'urgence doit être bien planifiée*
- *opposition des syndicats*, mais des *transferts d'emplois* sont souvent possibles
- ce n'est pas un but en soi: il faut évaluer les bénéfices / inconvénients



# Modes sur rail

## Impacts

### Influence sur l'utilisation du sol et la forme des villes

- ▶ permanence des infrastructures
- ▶ si la planification et la maintenance sont réalisées avec soin:
  - ▶ les stations s'insèrent dans leur environnement et articulent l'environnement urbain autour d'elles
  - ▶ attirent de nombreux commerces et complexes résidentiels
  - ▶ permet de propulser le réaménagement de secteurs entiers
  - ▶ favorise l'implantation de nouveaux quartiers/axes piétonniers
- ▶ sinon:
  - ▶ risque d'apparition/aggravation de problèmes sociaux autour des stations mal entretenues

### Bienfaits environnementaux

- ▶ réduit la vulnérabilité à l'approvisionnement en pétrole
- ▶ énergie électrique en majorité

### Qualité et âge des équipements, maintenance et financement

- ▶ l'influence positive des modes sur rail est directement proportionnelle à la qualité des infrastructures, leur jeune âge, à la maintenance et au financement
- ▶ les avantages et les excellents points positifs du rail peuvent être anéantis par le non respect d'un seul de ces facteurs

**Par contre, tous ces bienfaits ne cacheront jamais les inégalités sociales:**

**<http://www.ledevoir.com/loisirs/voyage/157833/projet-urbain-de-bordeaux-un-bilan-contraste>**



# Modes sur rail Coûts

- Les coûts changent d'une ville à l'autre, mais il existe des coûts moyen selon l'infrastructure et l'équipement à acquérir

## Coûts d'investissement moyens

- SLR et tramways
  - Catégorie C: moins de 15 M\$/km
  - Catégorie B et A: entre 20 et 80 M\$/km
- SRR/métros: entre 60 et 250 M\$/km
  - **aérien: 2 à 3 x plus qu'en surface**
  - **en tunnel: 2 à 3 x plus qu'aérien**
- Trains régionaux sur emprises existantes (mise à jour des voies): **entre 1 et 4 M\$/km**
- Il faut prévoir les **coûts indirects** (aménagement de places publiques, relocalisation de certains édifices, restauration des rues et trottoirs aux alentours, etc.)

- Les stations **multimodales coûtent beaucoup plus cher**, mais ont un effet positif souvent énorme
- Coût des véhicules
  - varient énormément (selon le volume d'achat, le lieu de fabrication, les options, etc.)
  - SLR: entre 2 et 6 M\$/train (entre 40 000 et 60 000 \$/m<sup>2</sup> de surface pour des trains de 20 à 50 m)
  - SRR/métros: entre 2,5 et 5 M\$ par voiture
- Coûts d'ingénierie et d'administration
  - autour de 25% des coûts d'investissement
  - imprévus: prévoir 25%, mais en moyenne, 10% du coût total

**Table 6.14** Investment costs of a line with different ROW categories<sup>a</sup>

Line Alternative	Mode	ROW (Alignment) Type (%)				Total Cost (\$10 <sup>6</sup> )
		Tunnel	Aerial	At Grade, Category A	At Grade, Category B	
I	RRT	100	0	0		1,200
II	RRT	30	50	20	—	740
III	LRT	30	0	10	60	580
IV	LRT	0	20	20	60	380

<sup>a</sup>Line length 10 km, with 10 stations. Assumed unit construction costs per km including one station: tunnel, \$120 million; aerial, \$60 million; category A, \$40 million; category B, \$30 million.

VUCHIC, Vukan R. *Urban Transit Systems and Technology* | Table 6.14

# Modes sur rail

## Coûts

### Coûts d'opération et de maintenance

- ▶ Opération des véhicules (salaires des conducteurs, superviseurs, personnel de planification des horaires, etc.)
- ▶ Énergie (électricité)
- ▶ Maintenance des véhicules (salaires, matériel, nettoyage, etc.)
- ▶ Maintenance permanente des voies (salaires, matériel, signalisation, etc.)
- ▶ Administration (coûts indirects, services légaux, comptabilité, assurances, bénéfices sociaux, maintenance des édifices, etc.)

**Table 6.15** Breakdown of operating costs among selected U.S. rapid transit systems (2004)

City/System	Annual Operating Expenses (\$ 000)				Total	Operating Expenses (% of total)			
	Vehicle Operations	Vehicle Maintenance	Non-Vehicle Maintenance	General Administration		Vehicle Operations	Vehicle Maintenance	Non-Vehicle Maintenance	General Administration
Los Angeles	28,485.2	10,832.4	12,448.5	14,062.7	65,828.8	43.3	16.5	18.9	21.4
San Francisco/BART	155,805.6	68,416.5	77,260.7	73,541.9	375,024.6	41.5	18.2	20.6	19.6
Washington/Wmata	137,122.7	111,929.4	162,429.6	114,034.5	525,516.2	26.1	21.3	30.9	21.7
Miami	25,062.1	14,563.0	14,685.2	7,127.4	61,437.7	40.8	23.7	23.9	11.6
Atlanta	51,361.1	23,387.9	29,059.8	19,399.5	123,208.3	41.7	19.0	23.6	15.7
Chicago	175,124.5	56,564.6	104,596.8	63,578.0	399,863.8	43.8	14.1	26.2	15.9
Boston	98,724.3	31,443.0	57,387.1	26,692.4	214,246.8	46.1	14.7	26.8	12.5
Baltimore	18,250.6	6,796.7	13,680.6	3,082.7	41,810.6	43.7	16.3	32.7	7.4
New York/Metro-North	83,838.8	21,520.7	51,900.7	22,531.9	179,792.2	46.6	12.9	28.9	12.5
Philadelphia/SSE	14,636.7	5,706.2	8,583.6	5,231.3	34,157.9	42.9	16.7	25.1	15.3
New York/Metro	1,138,484.7	429,419.2	657,741.9	311,994.0	2,537,639.7	44.9	16.9	25.9	12.3
Cleveland	7,617.8	5,474.1	9,589.7	1,187.5	23,869.1	31.9	22.9	40.2	5.0
Philadelphia/SSE	69,352.7	22,868.5	16,609.5	16,549.3	125,380.1	55.3	18.2	13.2	13.2

VUCHIC, Vukan R. *Urban Transit Systems and Technology* | Table 6.15

# Modes sur rail

## Tendances et rôle futur

### Évolution

- ▶ Tramway/SLR
  - ▶ revitalisation et/ou modernisation après le déclin des années 50
  - ▶ le mode dont la croissance est la plus rapide (~ 3 nouveaux réseaux inaugurés chaque année dans le monde)
- ▶ Métro/SRR
  - ▶ de 17 réseaux en 1950 à plus de 110 au début des années 2000
- ▶ Trains régionaux
  - ▶ déclin majeur en Amérique du Nord après 2<sup>e</sup> guerre mondiale, regain et croissance des réseaux
- ▶ Tram-train
  - ▶ introduits depuis 1980 en Allemagne surtout: important potentiel de développement

### ↑ population urbaine et ↑ possession automobile

- ▶ influencent le développement et l'efficacité des systèmes sur rail
- ▶ investissements massifs dans les réseaux routiers et autoroutiers
  - ⇒ souvent négligence des chemins de fer
  - ⇒ ↓ achalandage des modes sur rail et des transports collectifs
    - ▶ erreur coûteuse à long terme
      - ▶ \$/passager ↑↑
      - ▶ énergie/passager ↑↑
    - ▶ mais:
      - ▶ ↑ congestion ⇒
        - ▶ ↑ réseaux de métros
        - ▶ ↓ tramways (catégorie C, manque de flexibilité)
        - ▶ ↑ SLR

# Modes sur rail

## Tendances et rôle futur

### Buts de l'implantation ou de la mise à niveau des modes sur rail

- ▶ ↑ vitesses de déplacement des transport collectifs
- ▶ ↑ capacités du système de transport
- ▶ ↑ fiabilité, efficacité, image, confort, sécurité des transport collectifs
- ▶ ↑ force du CBD (centre-ville) et stimuler son développement
- ▶ ↓ coûts d'opération grâce à l'↑ de la productivité de main d'œuvre (par rapport au bus)
- ▶ ↓ congestion et réduire l'espace alloué au stationnement (revalorisation de l'espace urbain)
- ▶ relier les régions/lieux séparés par des barrières géographiques
- ▶ faciliter l'accès aux aéroports, aux zones commerciales et résidentielles et aux campus universitaires

### À partir de quelle population devrait-on implanter un réseau sur rail?

- ▶ Métro/SRR
  - ▶ à partir d'environ 700 000 habitants à la ville-centre
- ▶ SLR et trains régionaux
  - ▶ à partir d'environ 150 000
  - ▶ après l'implantation, il est rare d'obtenir des achalandages < que prévu
  - ▶ normalement, l'achalandage est > que prévu
- ▶ SRR, SLR et trains régionaux peuvent même fonctionner de façon surprenante avec de faibles densités (ex: Philadelphie) si on intègre bien les P+R et K+R
- ▶ Les SRB sont souvent une sorte d'intermédiaire servant à mesurer la demande pour des services sur rail subséquents
  - ▶ ils ne doivent pas empêcher/remplacer l'arrivée des modes sur rail
  - ▶ ils peuvent aussi se supporter mutuellement

# Modes sur rail

## Tendances et rôle futur

### Intégration rail + bus

- ▶ Après l'ajout de services sur rail à un réseau de bus:
  - ▶ ↑ part modale des transports collectifs
  - ▶ ↓ ou stabilisation de la possession automobile
  - ▶ ↓ énergie/déplacement
- ▶ Le rail est de plus en plus encouragé pour faire face aux problématiques d'approvisionnement en énergie
- ▶ La valeur du rail dépasse les gains économiques, environnementaux et physiques directs: souvent un symbole de la ville, une fierté (métro/SRR surtout)
- ▶ Des exemples de développements du rail réussis:
  - ▶ Japon, Suisse, Allemagne | Zurich, Berlin, Munich, Frankfort, Paris, Sydney (trains régionaux), Los Angeles (récemment, toujours en développement)
- ▶ Exemples de développements de services de transport collectif performants (notamment SRB):
  - ▶ Brésil, Amérique latine

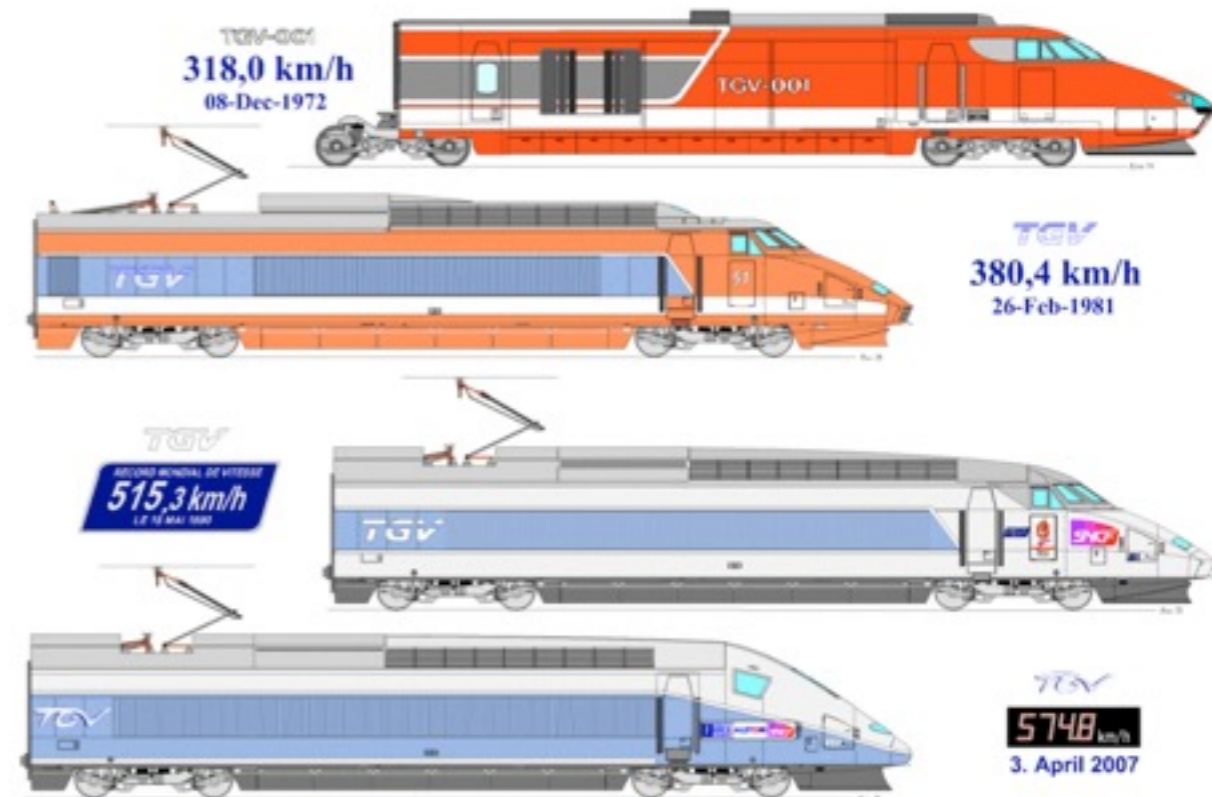


# Modes sur rail

## TGV | Trains interurbains à grande vitesse

### Caractéristiques

- ▶ les véhicules terrestres commerciaux les plus rapides au monde pour l'instant (à l'exception de certains prototypes et des trains magnétiques Maglev)
- ▶ technologie française datant des années 1970
- ▶ permet d'entrer en concurrence avec l'avion, surtout en Europe (service rapide centre à centre)
  - ▶ les compagnies aériennes, comme Air France, sont de plus en plus intéressées à implanter leur propre réseau de TGV
- ▶ record de 2007: tests effectués à 575 km/h
- ▶ vitesse commerciale record: 279 km/h
- ▶ réseau de TGV en Europe de plus en plus étendu (France, Italie, Belgique, Suisse, Allemagne, Pays-Bas, Espagne, Angleterre (via l'EuroStar): ils construisent leurs réseaux et les interconnectent)
- ▶ de plus en plus présents en Chine (utilisés au Japon depuis un certain temps)
- ▶ on prévoit les implanter en Amérique du Nord
- ▶ permettent d'accroître la clientèle des transports collectifs des villes reliées au moyen de gares intermodales modernes



# Les gares du futur ?

