

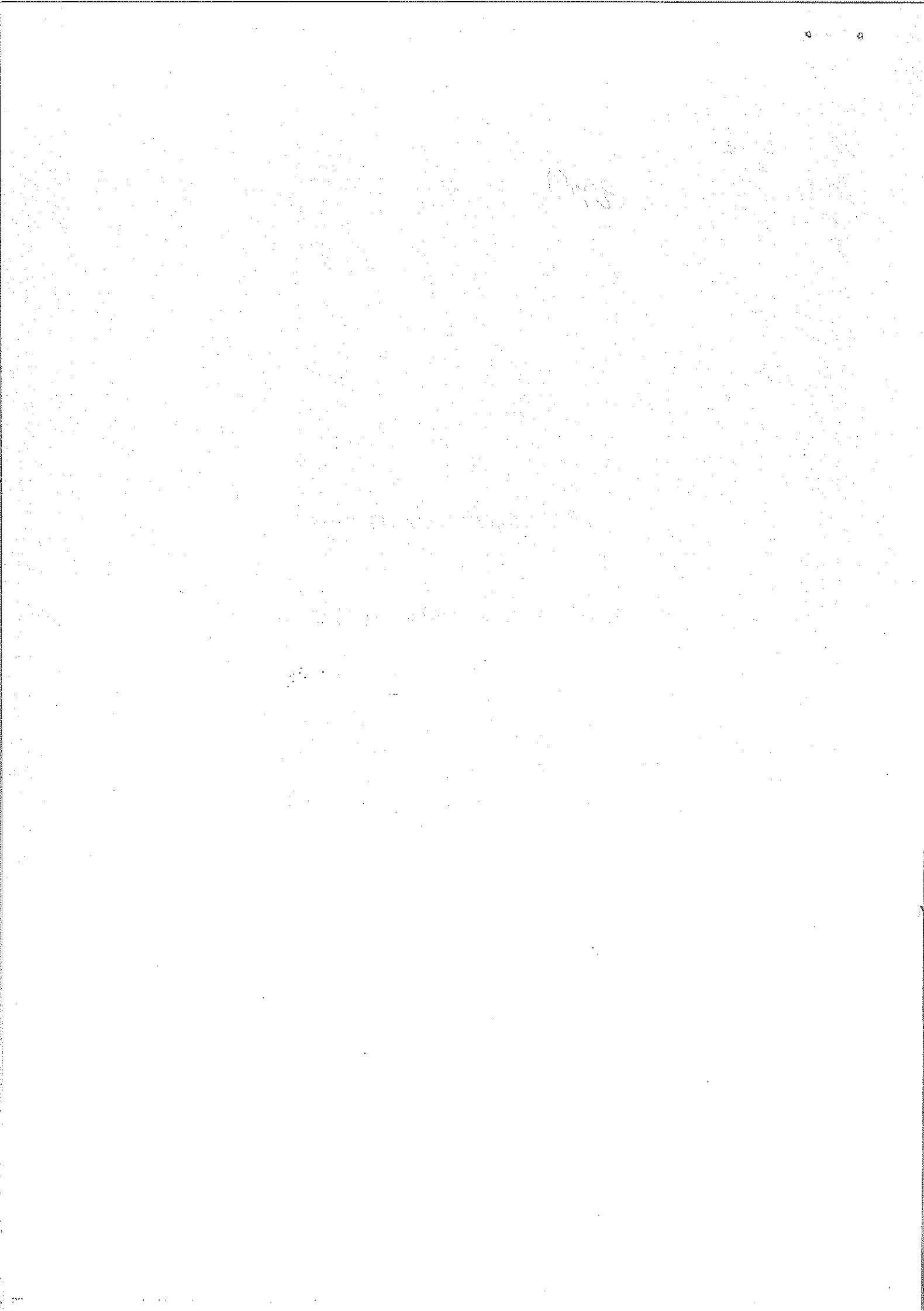
INRETS - CRESTA

89.99 éd.2

2789

LE METRO LEGER EN FRANCE

INFRASTRUCTURES ET MATERIEL ROULANT



SOMMAIRE

	pages
Les infrastructures du Métro Léger.	
Introduction	
1. Les différents types de sites rencontrés.	1
2. L'évolution des sites	2
2.1 Les plateformes ferroviaires	3
2.2 Les corridors autoroutiers	3
2.3 Les sites séparés sur voirie urbaine	3
3. La voie	3
3.1 Caractéristiques de la voie	3
3.2 Les arrêts ou stations	3
4. L'alimentation en énergie électrique	3
5. Equipements de télécommunication et de télécommande	4
Le Matériel roulant	
1. Elaboration du projet de Tramway Français Standard	4
1.2 Lancement des études et commande de l'Agglomération Nantaise	4
2. 1 ^e évolution du matériel roulant.	5
2.1 Caractéristiques communes au métro léger et au TFS.	5
2.2 Augmentation de la capacité.	5
2.3 Les options	5
3. Caractéristiques principales du Tramway Français Standard.	
3.1 Structure de la caisse	5
3.2 Aménagement intérieur	5
3.3 Bogies et moteurs	6
3.4 Articulation	6
3.5 L'équipement électrique	6

3.6 Performances	7
3.7 Capacité du système	7
4.Les facteurs de confort et de modernité	7
4.1 Les accès	7
4.2 Le bruit	7
4.3 L'esthétique	7
4.4 Le confort	7
4.5 La sécurité	7
5. 2^e évolution des caractéristiques du matériel: le TFS surbaissé.	8
5.1 Accessibilité aux personnes à mobilité réduite.	8
5.2 Nouvelles caractéristiques du TFS surbaissé	8
6. Un 3^e type de matériel roulant: le tramway surbaissé à voie métrique	8
6.1 Définition d'un nouveau véhicule pour le réseau de St Etienne.	8
6.2 Le cahier des charges et la proposition des constructeurs	9
6.3 Les principales caractéristiques du matériel	9
6.4 Les performances.	10
7. Evolutions futures du matériel roulant.	10
7.1 Comparaison avec le matériel étranger	10
7.2 Le Matériel Roulant modulable à plancher bas intégral	10
7.3 Le Métro Léger Brésilien	11
Conclusion	12
Le Métro Automatique	12
1. Le système VAL	12
1.2 La sécurité anticollision et le cantonnement	13
1.3 Conduite automatique et contrôle des vitesses	13
1.4 Le poste de contrôle et de commande	13
1.5 Le matériel roulant	14
1.6 Perspectives d'évolution du VAL	14
1.7 Le VAL 256	15
Conclusion	15

INFRASTRUCTURES ET MATERIEL ROULANT

Francis KUHN

INRETS ,Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité

Les infrastructures du Métro Léger.

Les transports en commun sont beaucoup mieux adaptés que l'automobile pour assurer la majeure partie des déplacements urbains, en particulier ceux à destination des centres villes car ils n'utilisent qu'un espace au sol très réduit pour le stationnement et rentabilisent au mieux la capacité d'écoulement des voies de circulation: la consommation d'espace et les nuisances diminuent.

Cependant, au milieu de la circulation générale, particulièrement aux heures de pointe, la vitesse commerciale des transports en commun est insuffisante, l'irrégularité de passage aux arrêts reste une des principales causes de désaffection des usagers pour ce type de transport.

Dégagés des aléas de la circulation, les transports publics sont susceptibles d'assurer une vitesse commerciale supérieure à 20 km/h et une régularité convenable: les seules perturbations proviennent des échanges en station et de la gêne mutuelle des véhicules de transport public.

L'aménagement de sites propres au sol procède donc d'une volonté d'améliorer l'efficacité de la voirie existante en accordant aux transports en commun un domaine réservé et une certaine priorité au franchissement des carrefours.

Nous présentons une typologie des divers sites propres dans le cas du Métro Léger qui d'après la définition qu'en donne l'Union Internationale des Transports Publics: " est un moyen de transport sur rails qui peut être développé par étapes depuis le tramway moderne jusqu'à un moyen de transport circulant en tunnel ou en viaduc." et dont les performances se situent entre l'autobus et le métropolitain .

1. Les différents types de sites rencontrés.

Les voies du métro léger se répartissent selon 4 types de sites:

- le site propre intégral qui correspond généralement aux réalisations nouvelles en centre ville en situation dénivélée: tunnel ou viaduc.
- le site séparé qui correspond aux plateformes indépendantes au milieu ou le long d'un boulevard ou sur une ancienne plateforme de chemin de fer.
- le site protégé correspondant à des voies réservées, mais non séparées physiquement sur des chaussées empruntées par la circulation générale.
- le site banalisé qui correspond aux voies de l'ancien réseau, posées sur la chaussée utilisée par la circulation générale: ces voies ne sont pas remplacées, soit à cause d'un trafic trop faible, soit à cause de la largeur de chaussée qui ne permet pas de séparer ou protéger (par la signalisation horizontale) les voies du métro léger.

Ainsi, pour une même ligne d'un réseau donné, on trouve les types de sites décrits ci dessus avec, dans les réseaux les mieux organisés, une hiérarchie partant du site propre intégral dans le centre ville où l'urbanisation est généralement très dense pour arriver au site séparé en périphérie où l'espace viaire le permet, un certain nombre de tronçons restant cependant en site banalisé. La disposition et l'emprise des sites séparés sont très variées; leur faible développement dans les zones denses montre qu'il est difficile de libérer un espace au profit des seuls transports collectifs. Les tronçons en site séparé que l'on trouve en centre ville relèvent souvent d'opportunités telles que la conservation de très anciens sites séparés du début du siècle (Bruxelles, Lille), l'utilisation d'infrastructures ferroviaires (Bâle, Cologne, Nantes), la création d'un quartier nouveau (Zürich, Berne, Utrecht), ou d'un projet routier (Zürich).

Dans d'autres cas, les transports en commun partagent un site séparé avec les piétons (Grenoble, Zürich, Bâle, Berne).

Cette difficulté à effectuer un partage de la voirie au profit des transports en commun incite les Autorités à proposer la mise en souterrain des lignes en centre ville: c'est le cas à Bruxelles

(pré métro), à Stuttgart (métro puis métro léger), à Hanovre, à Cologne ... etc. Lorsque la ville refuse le choix du souterrain (Grenoble, Zürich, Bâle), on y développe les sites protégés (avec un degré de protection variable) et les systèmes de priorité aux feux avec contrôle par ordinateur de l'exploitation.

2. L'évolution des sites.

Une étude effectuée par l'INRETS en 1987 sur le thème de l'automatisation des transports de surface montre que sur 13 réseaux européens dont celui de Nantes et Grenoble totalisant 98 lignes de tramway, 34 lignes ont ou vont avoir à court terme un pourcentage de linéaire en site propre intégral ou séparé supérieur à 75% de leur longueur. La tendance générale des réseaux est d'accroître les tronçons de plateforme en site propre ou séparé de leurs lignes de tramways. Cette tendance se confirme pour les lignes nouvelles, qui sont généralement construites en site séparé, en utilisant différents types d'emprises: plateformes ferroviaires, corridors autoroutiers ou voirie urbaine.

2.1 Les plateformes ferroviaires.

L'utilisation de plateformes ferroviaires permet d'accéder au centre ville sans de gros investissements de mise en souterrain: les lignes de Tijuana et el Cajon à San Diego, la ligne de Los Angeles-Long Beach, les lignes de Calgary, Edmonton, Portland...la ligne de l'Albtalbahn à Karlsruhe, certaines lignes du réseau de Cologne, Stuttgart, Göteborg, la 1^e ligne de Nantes sont des exemples.

2.2 Les corridors autoroutiers.

Sur quelques réseaux à travers le monde, les autobus empruntent une voie séparée (parfois à contre sens) sur des autoroutes urbaines; il devient intéressant d'utiliser cette emprise séparée pour la mise en place d'un métro léger si le trafic le nécessite: les réalisations de Los Angeles, Sacramento, Portland et San Jose (Guadalupe Corridor) en sont des exemples.

2.3 Les sites séparés sur voirie urbaine.

Comme précédemment, on trouve des plateformes pour le métro léger sur les voies rapides de banlieue, dans des avenues autour de l'hypercentre, enfin dans le centre en supprimant la circulation automobile sur certaines voies libérées aux piétons et aux transports collectifs: c'est le cas des réseaux de Grenoble, Berne, Bâle, Zürich... en Europe, de Buffalo... aux USA.

A défaut d'emprise au sol dans le centre, il devient nécessaire d'effectuer de gros travaux de mise en souterrain, ce qui fait perdre quelques avantages au métro léger du point de vue des investissements.

3. La voie.

Les techniques de construction de la voie ont beaucoup progressé, et il existe une réglementation détaillée et de nombreuses directives notamment en ce qui concerne les caractéristiques géométriques, physiques et fonctionnelles.

3.1 Caractéristiques de la voie.

Les techniques de construction des voies peuvent être classées en 3 catégories:

- la voie noyée, qui est généralement utilisée en site banalisé, est caractérisée par l'emploi d'un rail à gorge, permet l'accès des véhicules routiers, le passage des piétons et des cyclistes...
- la voie sur ballast est le type actuellement le plus répandu pour les sites séparés ou site propre intégral; elle est caractérisée par l'utilisation du rail Vignole infranchissable par des véhicules routiers et difficilement franchissable par des cyclistes.

- La voie découverte sur béton avec utilisation de rails Vignole est le type de voie le moins répandu; on le trouve surtout sur des ouvrages tels que viaduc, pont ou tunnel. Le réseau de Cologne, promoteur de ce type de construction, et de Marseille possèdent ce type de voie appelé à être utilisé chaque fois que la voie passe sur un ouvrage en béton.

Une des particularités de la voie sur de nombreux réseaux de métro léger est qu'elle peut être utilisée

par d'autres véhicules, notamment des trains de marchandises (Cologne, Francfort, Karlsruhe, Budapest...): la voie est plus vite rentabilisée mais elle doit être équipée des systèmes de protection ferroviaire, notamment aux carrefours à niveau.

3.2 Les arrêts ou stations.

Les points d'arrêts du métro léger, éléments des domaines exploitation et infrastructure, doivent être pourvus, d'accès aisés et sûrs et disposer de moyens d'information des voyageurs, être agréables et fonctionnels; ils sont harmonisés avec le matériel roulant en exploitation.

Normes et dimensions

Les dimensions et le niveau des quais ou des îlots sont fonction des caractéristiques géométriques des rames et de la densité du trafic de voyageurs; le niveau du quai dépend surtout de la possibilité d'insertion géométrique le long de la plateforme, souvent difficile en centre ville. Les quais hauts ou le plancher bas du véhicule, outre le confort, participent à l'accélération de l'exploitation car ils permettent une réduction du temps d'arrêt en gagnant sur le temps d'échange de voyageurs.

Dispositions des arrêts

L'implantation des arrêts en amont ou en aval des carrefours dépend de la régulation du trafic par feux de signalisation: si la signalisation peut être influencée ou s'il y a une onde verte, le métro léger pouvant s'assurer un droit de passage prioritaire, l'arrêt peut être implanté en aval du carrefour.

Les stations de correspondance

Ces stations doivent être particulièrement bien étudiées car il s'agit de mettre en relation différents modes de transport, de les coordonner, de réduire les temps de trajet pour l'usager afin que la rupture de charge ne soit pas dissuasive de l'utilisation des transports en commun.

Quelques équipements spécifiques permettent d'assurer le respect effectif des correspondances:

- . des dispositifs de départ sur ordre pour les autobus en rabattement, liés à l'arrivée des tramways et commandés par le système d'aide à l'exploitation .
- . la télésurveillance des stations par caméras depuis le PCC.
- . la sonorisation des stations pour informer les usagers depuis le PCC.

4. L'alimentation en énergie électrique.

Les installations d'alimentation en énergie électrique de traction doivent s'adapter aux normes du métro léger, on trouve ainsi:

- les sous-stations implantées à proximité des lignes pour diminuer les pertes de puissance en ligne et reliées à un poste de contrôle de régulation avec télécommande, ce qui améliore l'exploitation et réduit les défaillances susceptibles de déclencher des pannes. A Nantes, 4 sous stations sont alimentées par le réseau EDF sous tension de 10 ou 20 KV, chacun de ces points de liaison alimente un poste de redressement (PR) qui délivre le 750 volts continu nécessaire à la traction.

- les sections de câbles sont telles qu'elles permettent de limiter les chutes de tension à 10%.
- la redondance de l'alimentation des tronçons de ligne évite d'interrompre le trafic lorsqu'il y a panne d'une sous-station.

- la ligne aérienne, de type caténaire, est formée de câbles porteurs ou feeders et de la ligne de contact qui permettent à la fois la transmission de puissance et la vitesse des véhicules. A Nantes, par souci de discréption, le choix pour la ligne aérienne s'est porté sur un support unique central en forme de H, à double console, le feeder étant enterré ce qui permet de réduire le nombre de fils apparents, la technique du fil régularisé permet des portées assez longues entre les supports soit 60 m en ligne droite.

- la mise en service d'un métro léger moderne nécessite l'aménagement de la ligne aérienne et des sous-stations pour le retour du courant de récupération au freinage.

L'aménagement des infrastructures du métro léger est nécessaire pour garantir la réussite du système: une meilleure séparation entre la plateforme du métro et le reste de l'espace réservé à la circulation générale constitue l'objectif principal des études d'infrastructure du métro léger.

Les 3 composantes du système, les installations fixes, le matériel roulant et l'exploitation doivent être adaptées les unes aux autres dans chaque phase de développement et portées à un niveau technologique très élevé.

5. Equipements de télécommunication et de télécommande.

La fluidité du trafic est aussi importante pour le métro léger que pour les autres modes de transport: en voie courante, de surface, le métro léger peut circuler à vue. Mais lorsqu'il est exploité avec des intervalles faibles, sur des tronçons en tunnel, le conducteur doit être aidé d'équipements de signalisation.

Les 3 fonctions essentielles relatives à la circulation des rames sont:

- la conduite de la rame ou pilotage: en fonction des pentes et rampes, de l'emplacement des arrêts et des performances du matériel, la rame doit avoir une vitesse déterminée en chaque point,

- le maintien de l'espace de sécurité minimum entre 2 rames consécutives,
- la régulation du trafic sur la voie: les rames doivent se succéder en permanence

à intervalle de temps précis et constant, prédéterminé en fonction du trafic. Il faut alors assurer un départ régulier des terminus et veiller à ce que cette régularité se maintienne sur le parcours.

Ces 3 fonctions peuvent être assurées par le personnel d'exploitation utilisant la signalisation et la téléphonie; elles peuvent aussi être automatisées, soit séparément, soit conjointement, par le pilotage automatique, l'arrêt automatique des rames en cas de franchissement d'un signal à l'arrêt et la commande centralisée du trafic.

Le Matériel Roulant

1. Elaboration du Projet de Tramway Français Standard.

En 1975, un Concours International d'idées portant sur l'établissement d'un projet définissant les caractéristiques d'un véhicule terrestre de transport collectif de voyageurs, guidé, électrique, pouvant circuler sur la voirie en site banal ou réservé, est lancé.

Après examen des différentes offres, le projet de Tramway présenté par BN et MATRA et le projet de Métro Léger présenté par Alsthom conjoint avec Francorail MTE sont retenus conjointement comme lauréats tant pour leurs qualités techniques que pour les caractéristiques économiques et industrielles.

Ainsi les collectivités locales disposent de 2 groupes industriels auprès desquels elles pourront lancer un appel d'offres.

*Les principales caractéristiques des 2 projets lauréats.
(cf paragraphe MR 1. en annexe).*

En Décembre 1979, 3 villes manifestent leur décision de principe de construire un réseau de tramway en site propre: il s'agit de Nantes, Strasbourg et Toulouse.

Le Syndicat Intercommunal des Transports en commun de l'Agglomération Nantaise lance un appel d'offres, le 15 Mars 1980 auprès des 2 lauréats du Concours de 1975: la date limite est fixée au 30 Juin.

Une seule offre est faite par le Groupement Alsthom Atlantique chef de file, Francorail MTE, CIMT et TCO.

Le Ministère décide, à la demande du groupe de travail chargé de définir le cahier des charges du TFS, d'apporter son aide au développement et à l'industrialisation du tramway et prend en considération le projet de la 1^e ligne du tramway de Nantes.

Une convention, signée en Novembre 1981, définit les obligations du Groupement industriel pour le développement, la construction et la vente du Tramway Français Standard aux agglomérations françaises.

1.2 Lancement des études et commande de l'Agglomération Nantaise.

Les études de fabrication commencent en Novembre 1981. Alsthom Atlantique est chef de file et a en charge les équipements de traction, de la caisse et de l'articulation. MTE a en charge le bogie, TCO les équipements auxiliaires.

L'étude est conduite en collaboration étroite avec l'exploitant du réseau de Nantes la SEMITAN et le bureau d'études Sofretu qui est chargé du contrôle de l'étude et du matériel roulant.

2. 1^e évolution du matériel roulant.

Durant la période 1976 - 1981 de nombreux contacts étaient pris par les constructeurs lauréats du Concours International auprès des utilisateurs potentiels dans les différentes villes françaises. Ces contacts ont permis de tester le bien fondé des idées générales du Concours, tout en faisant apparaître chez les utilisateurs potentiels des souhaits justifiés par leurs préoccupations d'exploitant ou par le contexte urbain particulier.

Par ailleurs, des évolutions notables sont intervenues dans l'expérience des bureaux d'études et les laboratoires des constructeurs grâce aux travaux menés sur d'autres projets. Des retombées pour les équipements électroniques et les éléments de caisse du tramway ont été possibles.

Plusieurs équipements prototypes de refroidissement par fréon ont été réalisés depuis 1976 pour la SNCF, la RATP, le Métro de Lyon et un trolleybus de St Etienne: cette technique est maintenant proposée en série pour la 2^e tranche du Métro de Lyon.

Pour les équipements de contrôle et de puissance les réalisations SNCF (TGV), RATP (MF 77), Métro de Lyon, Métro de Caracas ont apporté une expérience accrue quant aux conditions de fonctionnement des schémas et des divers composants mis en oeuvre.

Pour ce qui est des caisses, le développement des structures en aluminium s'est poursuivi ces dernières années sur le matériel du Métro de Lyon, du MF 77 du Métro de Paris.

L'emmarchement du TGV a permis de mettre au point des techniques voisines de celles prévues pour la marche escamotable du projet de tramway.

Depuis 1977, la société MTE a pu obtenir dans le cadre d'un consortium international, la conception et une partie des fabrications pour les bogies du Pré - Métro de Rio de Janeiro: ces bogies ont été conçus pour réduire les réactions sur les voies.

Ainsi des différentes remarques ci dessus, le TFS à l'étude en 1981 et l'avant projet de Métro Léger semblables dans leur grande ligne, prennent des différences notables provenant en particulier de l'augmentation de capacité à performance égale et de l'abandon définitif d'options possibles pour le Métro Léger.

2.1 Caractéristiques communes au Métro Léger et au TFS.

Dans les 2 projets il s'agit d'un véhicule bidirectionnel de 2 caisses articulées sur 3 bogies, 2 bogies monomoteurs aux extrémités et un bogie porteur sous l'articulation située au centre du véhicule; les moteurs de traction sont alimentés en 750 volts continus et commandés par un hacheur de courant.

2.2 Augmentation de la capacité.

La comparaison des caractéristiques principales des 2 projets montre l'évolution de la capacité du futur tramway: (cf. paragraphe MR 2.2 en annexe).

Pour assurer les mêmes performances la puissance des moteurs passe pour un élément de 2 caisses de 430 kW à 550 kW.

2.3 Les options.

Les 2 options principales : véhicule pour voie métrique et véhicule aménagé pour circulation avec terminus en boucle sont maintenues.

Par contre le TFS n'est pas développé en vue de pouvoir avoir une structure en acier, de recevoir une suspension pneumatique ou le conditionnement d'air.

3. Caractéristiques principales du Tramway Français Standard.

3.1 Structure de la caisse.

La structure de la caisse est réalisée essentiellement par des profilés en alliage d'aluminium (AG5). Le châssis, les faces, le pavillon et le bouclier de protection du conducteur sont donc réalisés intégralement en aluminium. Le bout avant, posé devant le bouclier est un complexe verre polyester.

3.2 Aménagement intérieur.

La largeur du couloir est de 0,60 m, la largeur de l'intercirculation est de 1,40 m.

Chaque siège est constitué d'une assise en polyester rigide à profil ergonomique et reposant sur un bâti métallique autoportant sans piétement et à l'épreuve du vandalisme.

3.3 Bogies et moteurs.

Les caisses du TFS reposent sur 3 bogies, 2 bogies moteurs et 1 bogie porteur médian placé sous l'articulation. Ces 2 types de bogies sont équipés de roues élastiques.

La liaison du bogie moteur avec la caisse est assurée par une couronne d'orientation à billes de grand diamètre dont le plateau extérieur est fixé à la caisse par des boulons tandis que le plateau interne est solidaire de la traverse de charge.

Le bogie porteur ne comporte pas de couronne d'orientation, l'anneau d'intercirculation repose directement sur la traverse de charge; le déplacement relatif des 2 caisses dans tous les plans étant assuré par l'articulation entre caisses.

Suspensions et liaisons

Il y a 2 étages de suspension:

- un étage primaire entre essieux et châssis de bogie.
- un étage secondaire entre châssis de bogie et caisse.

(cf fig. en annexe par.3.3)

Le débattement transversal maximal est limité par des butées élastiques progressives qui complètent à cet effet les éléments sandwichs de suspension.

Organes de freinage à friction

Le véhicule dispose d'un freinage électrodynamique, de freins mécaniques à disques à commande électrique et de patins électromagnétiques, 2 par bogies pour le freinage d'urgence. En ce qui concerne les freins mécaniques, le frein devant être sécuritaire, l'effort de freinage produit par un ressort est calculé en fonction des performances à réaliser: l'effort de freinage est tributaire de la demande du conducteur et d'un contrôle à la charge .

Moteur et transmission

Le moteur est monté longitudinalement entre les 2 essieux au centre du châssis sur lequel il est fixé en 4 points, il entraîne de chaque côté, par l'intermédiaire d'une transmission télescopique à cardans, un pont à double transmission monté sur chacun des essieux. (cf. caractéristiques du moteur en annexe par.3.3)

Sablage

Chaque bogie moteur est équipé de 4 dispositifs de sablage: l'air comprimé nécessaire est obtenu par un minicompreseur pour chaque sablière.

Graisseur de boudin

Un dispositif graisseur de boudin peut être monté sur le bogie porteur, relié à un détecteur de courbe et alimenté par une pompe électromagnétique.

3.4 Articulation.

L'articulation comprend le dispositif d'articulation et le couloir d'intercirculation et son plancher sans lacunes ni ressauts. L'articulation fonctionne suivant 3 degrés de liberté (cf. fig en annexe par. 3.4):

3.5 L'équipement électrique.

Le circuit de puissance d'un tramway est composé d'équipements communs tels que pantographe, disjoncteur à déclenchement rapide, avec ses protections, self du filtre, convertisseur statique et d'une chaîne de propulsion identique et autonome pour chacune des motrices comprenant hacheur principal, hacheur d'excitation, capacité de filtre, self de lissage, moteur de traction ainsi que leurs équipements associés.

Cette disposition et l'isolement automatique en cas de défaut constaté par la logique hacheur, de chacune des motrices indépendamment l'une de l'autre, confère à l'ensemble de la propulsion la meilleure disponibilité.

Hacheurs de traction

Chaque bogie monomoteur est alimenté par un hacheur principal et un hacheur d'excitation. Les hacheurs principaux bénéficient du refroidissement intégré liquide ERILA (Electronique à Refroidissement Intégré Liquide Alsthom - Atlantique), technique qui permet une diminution importante de volume du système de refroidissement constitué par le flugène contenu dans une enceinte étanche.

Baie de contrôle électrique: BCE

Chaque motrice est équipée d'une BCE qui élabore, en fonction des mesures de tension et de courant et des paramètres associés à la conduite du tramway, les impulsions de commande des thyristors de puissance.

Commande et conjugaison de freinage

La conjugaison de freinage se fait motrice par motrice comprenant un bogie moteur et un essieu porteur. Il n'y a pas de report de freinage de motrice à motrice.

Le freinage électrique est prioritaire: il s'effectue soit sous forme de récupération d'énergie par la caténaire vers les sous - stations réversibles ou les autres rames qui tractionnent, soit sous forme de dissipation d'énergie dans les résistances de freinage. Le frein mécanique est sollicité sur le bogie moteur et sur l'essieu porteur si le couple mesuré de freinage électrique est inférieur à la consigne demandé. Le freinage électrique est maintenu en freinage d'urgence, seul l'antienrayage - antipatinage est isolé.

Essai à puissance réduite et test

On peut vérifier le bon fonctionnement de l'ensemble des hacheurs ou localement pour chaque hacheur d'un tramway en unité simple ou double en commandant un essai à puissance réduite depuis la cabine. L'ensemble de la BCE peut être validé par un simulateur ou valise de test.

Convertisseur statique

Un convertisseur statique principal fournit à partir du courant de ligne une tension continue de 72 V, pour l'alimentation des auxiliaires et la charge de la batterie de secours: 2 convertisseurs statiques de 72V - 24V connectés en parallèle sont incorporés dans le convertisseur statique principal.

3.6 Performances.

Cf. tableau en annexe par. 3.6

3.7 Capacité du système.

Cf. tableau en annexe par. 3.7

4. Les facteurs de confort et de modernité.

Un accent particulier a été mis pour faire du TFS un moyen de transport réellement attractif.

4.1 Les accès.

Les portes d'accès sont du type louvoyant pivotant selon un modèle assez répandu sur les autobus. A chaque porte est associé une palette mobile à déplacement horizontal dont le mouvement est synchrone de celui de la porte: palette sortie, l'accès depuis le trottoir se fait par l'intermédiaire de 2 marches, la marche mobile et une marche fixe à l'intérieur de l'habitacle, la dénivellation pour un véhicule vide rame neuve est de 620 mm.

L'emplacement des portes a été déterminé pour permettre le meilleur écoulement des usagers et réduire ainsi la durée d'arrêts en station.

4.2 Le bruit.

Ayant adopté la filière " tout électrique ", les roues élastiques et des suspensions modernes, ce véhicule offre une qualité de roulement sans vibrations.(cf. par.4.2 en annexe)

4.3 L'esthétique.

La décoration extérieure et l'habillage de l'habitacle ont été conçus par un styliste du TGV, Jacques Cooper, ce qui est le gage d'une esthétique moderne et d'un certain confort.

4.4 Le confort.

Le confort est ressenti au niveau des accès du véhicule mais aussi à l'intérieur par une circulation aisée, la qualité du roulement, la progressivité du démarrage que permet l'utilisation du hacheur, enfin par la conception de l'aménagement intérieur.

4.5 La sécurité.

Un matériel moderne doit respecter les règles de sécurité existantes pour les véhicules devant transporter du public, les constructeurs du TFS les ont appliquées:

- par une conception de caisse qui offre une grande rigidité mécanique et prévoit un bouclier de protection de la cabine du conducteur,

- par la nature des matériaux utilisés, résistants au feu,

- par la mise en place de différents équipements tels que signal d'alarme au droit de chaque

porte, extincteur, dispositif d'homme mort pour le conducteur, portes à bords sensibles, marches à tapis sensibles ...etc,
- par l'aménagement du poste de conduite avec une large visibilité, ...etc.

En conclusion, ce tramway avec une structure en alliage léger, équipé d'une commande par hacheur de courant refroidi au fréon, permettant la récupération intégrale d'énergie, bénéficiant des derniers développements technologiques de l'industrie ferroviaire française, est un véhicule résolument moderne.

5. 2^e évolution des caractéristiques du matériel: le TFS surbaissé.

5.1 Accessibilité aux personnes à mobilité réduite.

A la demande d'Associations d'handicapés, de médecins et de techniciens du Transport en commun, un groupe de travail constitué des responsables de Transport de Grenoble, Strasbourg, de la RATP, de la Semaly, maître d'œuvre du projet de Grenoble, le groupement des constructeurs du TFS sous l'autorité du Ministère des Transports a défini en 1983 un nouveau matériel à plancher bas.

Après l'étude de plusieurs variantes, la solution retenue permet d'obtenir l'accès au véhicule dont le plancher est situé à 35 cm du plan de roulement par 4 portes louvoyantes coulissantes.

Un avenant à la convention du 6 novembre 1981 liant l'Etat et le groupement des constructeurs relatif au développement de la variante TFS à plancher bas était signé le 20 décembre 1984: parallèlement était signé la commande de 20 rames à plancher bas par le SMTG de Grenoble et le groupement industriel.

5.2 Nouvelles caractéristiques du TFS surbaissé.

Les caractéristiques générales du TFS surbaissé diffèrent assez fondamentalement de celles du tramway de Nantes. Chaque véhicule, réversible, se compose de 2 caisses reliées entre elles par un caisson central formant l'intercirculation et constitué de 2 demi - éléments s'articulant entre eux sur le plan vertical et repose sur un bogie porteur à 2 essieux de conception particulière.

Le plancher aux 2 extrémités est à 0,875 m du plan de roulement sur 5,25 m environ, dans la partie centrale sur une longueur de 17,85 m le plancher est à 0,345 m du plan de roulement. 4 portes doubles d'une largeur de 1,30 m donnent accès au plancher bas; les paliers des portes centrales sont munis d'une palette escamotable qui permet à une personne se déplaçant en fauteuil roulant d'accéder au véhicule sans aucune difficulté (pour éviter la lacune de 43 mm en alignement et 219 mm dans une courbe de rayon de 100 m) et assurer en toute sécurité l'accès au véhicule des PMR.

Les bogies sont de 2 types: les bogies moteurs, identiques à ceux de Nantes (équipés de graisseur de boudin) et un bogie central, porteur, équipé de roues indépendantes montées sur essieux coudés: un passage de 0,86 m de large est laissé libre dans l'intercirculation pour permettre le passage d'un fauteuil roulant lorsque les sièges latéraux ne sont pas occupés. Une liaison directe entre la caisse et les appuis de la suspension secondaire remplace la traverse danseuse du bogie moteur: le débattement du bogie porteur est ainsi très faible.

Les caisses sont en acier au cuivre AC 52, préféré à l'aluminium pour des raisons de commodité de réparation, malgré un devis de masse moins favorable.

On peut rappeler que outre les études nécessaires à la fabrication des véhicules et de leurs sous ensembles réalisées par le groupement des constructeurs Alsthom - Atlantique, Francorail, CIMT Lorraine, les études de principe et de faisabilité sont menées par un maître d'œuvre, le groupement Metram Studelec (GMS) qui s'est attaché la collaboration d'un architecte spécialisé industriel, Industrial Design Office (IDPO) de Courtrai, la SEMITAG tenant le rôle de pilote et d'ingénieur conseil.

Une recherche approfondie sur l'esthétique, l'ergonomie et le confort a permis de concevoir un matériel de grande transparence intérieure, d'une finition extérieure très soignée disposant d'aménagements fonctionnels et agréables pour donner du tramway une image attractive et moderne.

Les principales caractéristiques et performances des 2 types de tramway, le TFS exploité à Nantes et le TFS à plancher bas exploité à Grenoble sont résumées en annexe (cf. par.5.2).

6. Un 3^e type de matériel roulant: le tramway surbaissé à voie métrique.

6.1 Définition d'un nouveau véhicule pour le réseau de St Etienne.

Le parc de matériel roulant de la ligne de tramway de St Etienne est composé de 35 motrices de

conception américaine (PCC) et de construction belge (Bruggeoise et Nivelles) dont 30 motrices simples livrées en 1958 et 5 articulées livrées en 1968. Se pose à brève échéance le remplacement du matériel PCC de 1958. Par ailleurs les conditions de transport sur la " grande artère " où les tramways sont saturés doivent être améliorés, enfin la productivité de l'exploitation doit être augmentée par une plus grande capacité unitaire des véhicules.

6.2 Le cahier des charges et la proposition des constructeurs.

Le SIOTAS a donc élaboré un cahier des charges d'une motrice articulée à 2 caisses sur 3 bogies dont les principales orientations sont les suivantes:

- longueur totale d'au moins 22 m.
- largeur portée à 2,10 m
- matériel unidirectionnel, mais prévu dès la construction pour être transformé en bi - directionnel.
- matériel à plancher bas afin de faciliter et accélérer les échanges de voyageurs aux arrêts.
- compatibilité avec le matériel actuel (perche, attelage), en raison de la coexistence des 2 types de véhicules pendant plusieurs années.

Après consultation, c'est le groupement de constructeur franco - suisse Alsthom et les Ateliers de construction mécanique de Vevey dont le chef de file est Alsthom qui a répondu au cahier des charges du SIOTAS début 1988. La commande de 15 véhicules est passée, la 1^e rame devrait être livrée fin Janvier 1991, puis à partir de Mai 91 à la cadence de une par mois.

6.3 Les principales caractéristiques du matériel.

Le véhicule unidirectionnel est constitué de 2 caisses principales et d'une articulation centrale, il n'est pas prévu de marche en unité multiple. Les études et les réservations nécessaires à la transformation ultérieure du véhicule en élément bidirectionnel sont prévues.

Structure de la caisse

La caisse est réalisée en acier AC 37 ou AC 52. Le châssis comporte les éléments principaux mécano soudés c'est à dire les traverses d'appui des bogies, de tête, d'articulation.

Aménagement intérieur

Dans la partie basse les sièges, constitués de coque ignifuge moulée et recouverts de nappes antivandalisme, sont fixés de façon à dégager totalement le plancher, dans la partie haute ils sont fixés sur des coffres.

Bogies et moteurs

Le bogie monomoteur est caractérisé par une conception classique mais très compacte permettant de situer le plancher à une hauteur d'env. 0,710 m au dessus du plan de roulement.

Le bogie porteur se caractérise par sa couronne d'orientation placée à un niveau très bas et par ses disques de frein à l'extérieur des boîtes d'essieu (cf. caractéristiques en annexe par.6.3).

Organes de freinage mécanique et électromagnétique

Le bogie est équipé d'un frein électro - hydraulique. Chaque essieu comporte un disque de frein et un cylindre de frein à ressort. Chaque bogie comporte 2 patins électromagnétiques.

Moteur et transmission

La motorisation comprend 1 moteur de traction de 140 kW disposé longitudinalement au centre du bogie. De part et d'autre du moteur se trouve un pont à engrenage à 1 étage combiné avec l'essieu, la transmission essieu - pont est assurée par 2 accouplements élastiques placés de chaque côté du pont.

Les caractéristiques du moteur de traction sont données en annexe cf. par 6.3.

Articulation

Le dispositif d'articulation comporte un portique lié à une double couronne à bille du bogie. Les 2 caisses sont articulées entre elles par cette même couronne à bille qui autorise tous les débattements. L'intercirculation assure un large passage de 1,30 m de large.

L'équipement électrique

Hacheurs de traction

Chaque bogie moteur est commandé par un coffre hacheur constitué d'un hacheur de courant induit, d'un hacheur de freinage rhéostatique, d'un pont de commande du courant d'excitation à 4 GTO et différents équipements.

La commande de tramway

Un émetteur de consigne transforme l'information du manipulateur en un signal de courant qui est émis en ligne de train vers les équipements de commande des 2 motrices. Chaque

commande bogie moteur assurant les différentes fonctions de traitement de la consigne, la correction de charge, l'antipatinage - antienrayage, le pilotage des différents hacheurs... etc.

Energie de servitude

Un convertisseur statique principal et une batterie d'accumulateurs assurent l'alimentation sous 24 V de divers équipements.

Traitement des défauts

L'emploi de microprocesseur permet d'intégrer facilement un système de détection de défauts performant qui assure presque toutes les fonctions de pilotage et a accès à toutes les variables du système: 60 types de défaut peuvent être enregistrés et analysés.

6.4 Les performances.

Les performances et caractéristiques du tramway sont résumées dans le tableau en annexe par.6.4.

7. Evolutions futures du matériel roulant.

7.1 Comparaison avec le matériel étranger

Le Tramway Français Standard.

Ce véhicule, dont les études de fabrication ont débuté fin 1981, est d'un niveau technologique brillant caractérisé par le choix de solutions performantes telles que la caisse aluminium, qui permet d'éviter les problèmes de corrosion, et un équipement électrique très moderne à hacheurs dans des enceintes au fréon: ceci permet des économies d'énergie et d'entretien par rapport à un matériel disposant de solutions plus conventionnelles.

La qualité du matériel réalisé par un constructeur de matériel ferroviaire, Alsthom - Atlantique, est comparable à celle des matériels utilisés par la SNCF et la RATP dont l'application des normes et procédures de fabrication sont une garantie de longévité (30 ans): le matériel tramway a été construit selon les mêmes procédures, avec les mêmes hommes et les mêmes contrôles. D'autres constructeurs utilisent les procédures de construction de matériel routier, ce qui n'est pas toujours favorable au bon vieillissement du matériel.

En vue de faciliter l'entretien, on a cherché, lors de la conception, à éliminer par exemple tout organe électro - mécanique sujet à usure et entretien et y substituer une solution électronique statique, le choix des équipements, la facilité de surveillance, la facilité de démontage et d'échange ont été le souci constant des projeteurs ce qui se traduit par une fiabilité et une disponibilité supérieures à celles des matériels concurrents.

La largeur du matériel de 2,30 m découle des prescriptions du Concours lancé en 1975 compte tenu de considérations d'insertion dans les centres historiques des villes françaises: en dehors des villes françaises, la plupart des réseaux ont adopté un gabarit variant de 2,50 m à 2,85 m, ces gabarits larges sont recherchés pour accroître la capacité de transport et de productivité. Cette caractéristique peut constituer un obstacle à l'exportation de ce matériel.

Le Tramway Français à plancher bas.

Ce matériel dérivé du TFS garde tous ses avantages auxquels on doit ajouter la possibilité par les usagers d'accéder directement, sans marche à monter, sans dispositif particulier à manœuvrer, à l'intérieur du véhicule.

7.2 Le Matériel Roulant modulable à plancher bas intégral.

Les constructeurs français doivent continuer à s'adapter à la demande des Collectivités et faire progresser le matériel avec les mutations technologiques: de nouvelles applications des composants électroniques laissent présager des gains importants de productivité et de diminution des coûts, les technologies de conception et de fabrication permettent des gains accrus de productivité et d'efficacité dans la construction des véhicules ce qui est aussi favorable à la diversité des modèles de véhicule et au prix de revient.

Le choix du tramway à plancher bas s'est avéré être un succès à Grenoble, il paraît intéressant de poursuivre dans ce sens et donc de proposer aux collectivités un véhicule à plancher bas intégral: les différents constructeurs ont des projets dans ce sens. Par ailleurs, la diversité des réseaux et des demandes des Collectivités oblige les constructeurs à prévoir des véhicules de construction modulaire ce qui permettrait une certaine flexibilité dans les propositions des constructeurs. De nombreuses villes françaises s'intéressent aujourd'hui au métro léger, ces villes étant généralement

de petites tailles avec des moyens financiers limités, s'orientent vers des projets peu coûteux où toutes possibilités d'économie sont bienvenues. Ces villes ayant des trafics peu importants, il a paru intéressant de proposer un véhicule plus petit dont la charge à l'essieu est de l'ordre de 8 tonnes de façon à réduire le coût des infrastructures.

Le constructeur Alsthom travaille actuellement à un projet de tramway de 2 caisses et 3 caisses, avec plancher bas intégral obtenu en diminuant le diamètre des roues, dont la charge à l'essieu devrait être inférieure à 8 tonnes.

7.3 Le métro léger " Brésilien".

Toujours dans un souci d'évolution du produit et pour répondre à la demande de réseaux supportant de très fort trafic ($> 10\,000$ pas. /h / sens), le constructeur Alsthom en association avec le constructeur brésilien Mafersa, a projeté un nouveau véhicule adapté au Brésil. Ce véhicule doit pouvoir fournir une grande capacité de transport qui alliée à sa simplicité de fabrication et robustesse doit permettre un faible coût de revient.

La fabrication des parties mécaniques et aménagements est destinée à être " localisée" au maximum tandis que les parties électriques et électroniques de propulsion de conception résolument moderne resteront importées.

Caractéristiques d'exploitation

Les débits à assurer dans une 1^e phase sont de 15 000 pas. /h / sens et dans une 2^e phase de 35 000 pas. /h / sens, ce qui conduit pour un véhicule de capacité unitaire de 300 places (6 voy. /m²) à des intervalles respectifs de :

- 2 minutes 30 secondes avec 2 éléments accouplés
- 1 minute 30 secondes avec 3 éléments accouplés

Dans ces conditions les 3 types de conduite suivants sont envisagés:

- conduite manuelle
- conduite manuelle contrôlée (automatic train protection, ATP)
- pilotage automatique (automatic train operation, ATO)

La vitesse commerciale sera au moins de 30 km/h et les interstations auront une longueur moyenne de 750 m.

Le site sera entièrement séparé de la circulation générale, avec à terme 20% de la voie en site propre intégral (tunnel ou viaduc). Les tronçons en tunnel seront protégés par une signalisation à cantonnements fixes, les croisements routiers à niveau seront limités et protégés pour le passage prioritaire du tramway.

Pour respecter les caractéristiques d'exploitation, le matériel roulant devra être performant et fiable. Les caractéristiques et performances de ce véhicule sont décrites en annexe, cf. par 7.3.

Principaux atouts

Sécurité

Les performances de freinage de $2,8 \text{ m/s}^2$ en freinage d'urgence et de $1,5 \text{ m/s}^2$ en freinage de service autorisent une exploitation sur les différents types de site.

Maintenance

Ce matériel profite des derniers progrès techniques en matière de maintenance:

- Equipement de propulsion entièrement statique
- Programme d'aide à la maintenance et localisation des pannes dans la

commande à microprocesseur.

- Modularité des cartes et fonctions électroniques, ainsi que des composants de puissance.

Spécifications techniques

Outre les qualités de confort et d'exploitation, les autres atouts techniques sont :

- les performances de traction: accélérations max. $1,2 \text{ m/s}^2$.

- l'équipement de traction à hacheurs pilotés par microprocesseur.
- le freinage électrique par récupération d'énergie.
- les équipements d'énergie auxiliaire optimisés en fonction du marché local.

Options possibles

Ce véhicule peut être adapté aux particularités locales, ainsi peuvent être adaptées les fonctions suivantes cf. par. 7.3

Conclusion

Nous venons de voir dans les chapitres précédents que les constructeurs français ont su s'adapter aux différents besoins des Collectivités Locales en faisant évoluer la gamme des véhicules de transport urbain: du métro léger proposé lors du concours international d'idées de 1975, le projet a évolué vers le tramway français standard qui a été mis au point pour le réseau de Nantes, puis à la demande du SMTG de Grenoble en liaison avec les Associations d'handicapés et les responsables d'autres villes un nouveau tramway à plancher bas a été livré au réseau de Grenoble. Enfin, pour le renouvellement du matériel PCC du réseau de Saint Etienne un 3^e type de tramway à plancher surbaissé est proposé et en cours de construction. La rapidité d'adaptation des constructeurs à honorer les différentes demandes des collectivités n'a été possible que parce qu'ils ont une grande expérience dans la construction de matériel ferroviaire et notamment à l'exportation où ils doivent répondre à différentes spécifications, en compétition avec des constructeurs étrangers. De plus, l'utilisation de sous ensembles existants sur les différents types de métropolitains (Métro de Paris, Montréal, Mexico, le RER, Métro de Lyon, Marseille, Lille...) ou de matériel de chemin de fer comme le TGV, dans la mise en oeuvre du tramway est une garantie de qualité, de rapidité dans l'exécution des commandes et de suivi des opérations après leur mise en service.

Ce matériel supporte toutes les comparaisons du point de vue performances, solidité et qualité, modernité et confort avec la concurrence étrangère; quant'aux coûts très sensibles à l'effet de série, ils ne pourront être vraiment comparés que lorsque ces 3 types de matériel seront construits à grande échelle, c'est à dire quand les différentes villes françaises qui doivent adopter le métro léger, auront choisi et passé commande.

Le métro automatique.

1. Le système VAL.

Ce système de transport en site propre intégral est caractérisé par les grandes options suivantes:

- la conduite automatique intégrale sans aucun personnel de conduite,
- des véhicules de petit gabarit circulant à vitesse élevée, autorisant de fortes fréquences, même aux heures creuses,
- la protection des quais par des portes palières afin d'éviter tout accident qui aurait pu mettre en cause le principe de l'automatisme intégral.

Le système de conduite et de régulation automatique doit assurer:

- la sécurité, c'est à dire la protection des trains contre les risques de collision et de survitesse,
- toutes les opérations de conduites depuis le démarrage du garage, les manœuvres en terminus et le fonctionnement en ligne.
- les commandes d'ouverture et fermeture des portes de véhicules et des portes palières,
- la surveillance centralisée de l'ensemble du système et la régulation des mouvements des rames, conformément à un horaire déterminé,
- les échanges d'informations entre les installations au sol et les véhicules.

1.2 La sécurité anticollision et le cantonnement.

La protection contre les collisions repose sur le principe classique du cantonnement fixe, la voie étant découpée en cantons, la règle est d'interdire à une rame de pénétrer dans un canton déjà occupé par une autre rame.

Les cantons sont regroupés en " tronçons " autonomes délimités eux mêmes par les stations ou les communications de voie.

La ligne est enfin découpée en 5 " sections " alimentées de façon autonome par des PR en 750V.

La détection d'occupation des cantons met en jeu une "logique de cantons" au sol qui utilise:

- une détection dite " négative " par coupure au passage des trains d'un faisceau d'ultrasons, à l'entrée et à la sortie de chaque tronçon;

- une détection dite " positive " sur chaque canton, fondée sur la réception par des boucles placées sur la voie d'un signal dit " d'anticollision " émis en permanence par les trains.

Cette logique de canton déclenche une alarme et provoque l'arrêt des trains sur toute une section par coupure de la haute tension et de la fréquence de sécurité décrite ci-dessous en cas de détection d'une situation dangereuse résultant:

- de la pénétration d'une rame sur un canton occupé,

- de l'entrée d'une rame par la " sortie " d'un canton,

- de la disparition des émissions d'anticollision d'une rame n'ayant pas quitté le tronçon.

Cette protection des trains contre les collisions est assurée au niveau local, sans intervention du PC, par un dispositif logique conçu en sécurité et réalisés à l'aide de circuits logiques câblés.

1.3 Conduite automatique et contrôle des vitesses.

Le système de conduite automatique et de contrôle des vitesses met en jeu un dispositif de transmission situé sur la voie, et constitué des 2 lignes de transmission bifilaires munies de croisements " équitemps ":

- la 1^e, dite fréquence de sécurité (FS), figurant le programme normal de vitesse,

- la 2^e, dite ligne de programme perturbé (PP), définissant le programme d'arrêt à respecter dans chaque canton quand le canton suivant est occupé.

Ces croisements sont détectés par des bobines situées sous la rame et sensibles au champ électromagnétique rayonné par ces lignes, qui sont alimentées en permanence.

Le signal alimentant la ligne FS est modulé par des signaux basse fréquence, permettant de transmettre:

- le sens de circulation

- l'occupation du canton suivant par l'émission d'une modulation " mode normal " ou " mode perturbé ".

Suivant le mode reçu, la rame est asservie à parcourir les intervalles entre croisements de l'une ou l'autre ligne dans un temps bien déterminé.

Toute interruption de la réception de la fréquence de sécurité à bord d'une rame provoque automatiquement l'arrêt de celle-ci.

En outre, un dispositif antisurvitesse déclenche une alarme et un freinage d'urgence lorsque l'intervalle de temps séparant le passage sur 2 croisements successifs est inférieur à un seuil donné.

En plus de ces lignes, la voie est équipée de balises passives, constituées de 2 plots métalliques détectés par des capteurs électromagnétiques situés sous les rames, ces balises annoncent soit les zones de ralentissement, soit la fin du ralentissement, soit l'approche d'une station.

Enfin, le mode " accostage ", permet, sous le contrôle des opérateurs du PCC, de faire accoster une rame en panne par la rame qui la suit et de la faire pousser jusqu'au prochain terminus; ce mode permet d'accroître de façon significative la disponibilité du système.

L'ensemble des lignes - de détection d'occupation de cantons et de programmes de vitesse - est regroupé dans un fourreau protecteur de plastique, placé dans l'axe de la voie et constituant ce que

l'on appelle le " tapis pilote ". (cf schéma par. Val 1.3)

1.4 Le poste de contrôle et de commande.

L'ensemble du système est placé sous la surveillance d'un poste central, le PCC , équipé de 2 ordinateurs qui assurent de façon automatique, sans intervention des opérateurs:

- la régulation des mouvements des véhicules, y compris les injections et les retraits de

rames, en fonction d'un tableau de marche mis en mémoire dans ces ordinateurs,

- la surveillance du fonctionnement de l'ensemble des équipements fixes et mobiles grâce à une installation de télémesure très développée, permettant le traitement d'environ 30000 télémesures renouvelées toutes les 2 secondes qui permet de détecter les anomalies affectant la quasi totalité des sous ensembles qui participent du système et de son environnement: escaliers mécaniques, ascenseurs, distributeurs de titre, ventilation. 5000 télécommandes permettent des remises en service rapides sans intervention locale.

En fonctionnement normal, les opérateurs du PCC, dont le nombre, en tenant compte du chef PCC, varie de 5 à 9 suivant l'heure, n'ont qu'un rôle de veille, qui se limite à:

- observer les alarmes éventuelles enregistrées par les ordinateurs,

- surveiller, à l'aide d'un réseau de 440 caméras de télévision reliées à 40 moniteurs situés au PC, l'ensemble des zones ouvertes au public: halls d'accès aux stations, escaliers mécaniques, quais...

Ils interviennent de façon active :

- pour la mise en route et l'arrêt de l'exploitation le matin et le soir,

- pour adapter en tant que de besoin les tableaux de marche des rames à des variations non prévues de la demande,

- dans la gestion des situations dégradées en cas d'incident. Ils ont notamment la possibilité de commander la commutation de certains équipements en redondance et de commander les opérations d'accostage et de poussage d'une rame en panne par la rame qui la suit.

Pour chaque ligne, il y a:

- 1 régulateur de gestion des stations,

- 2 régulateurs de gestion de la ligne proprement dite,

- 1 régulateur d'injection retrait (gestion des terminus et du parking)

Pour les 2 lignes, il y a un superviseur qui dispose:

- d'une console de dialogue informatique autorisant l'accès aux données relatives aux lignes 1 et 1 bis,

- une platine de commandes et surveillances liées à la fonction logique Trafic/Traction, par ligne.

- une console moniteur vidéo et un clavier associé par ligne,

- un Terminal de liaison phonie avec les rames, par ligne,

- une régie BF pour la sonorisation des stations, associée au terminal Phonie-rames ci dessus,

- des lignes téléphoniques directes avec les services de sécurité, EDF, le réseau de secours des lignes 1 et 1 bis.

- un pupitre de distribution d'énergie.

Les informations sont fournies à chaque poste de travail sur des consoles à écran cathodique.

En outre, le PCC est équipé d'un grand tableau de contrôle optique (TCO) offrant une vue d'ensemble du trafic sur chaque ligne ainsi que 40 moniteurs reliés au réseau de 440 caméras déjà mentionné.

Ainsi l'exploitation du VAL comme celle des stations est essentiellement conduite depuis le PCC et nécessite des effectifs réduits. (cf Effectifs du Val par. 1.5)

1.5 Le matériel roulant.

Ce matériel est constitué de rames réversibles de 2 voitures scindables uniquement en atelier, sur lesquelles sont répartis les divers équipements de conduite et de propulsion.

Les principales caractéristiques du véhicule sont résumées dans le paragraphe Val 1.5 en annexe.

1.6 Perspectives d'évolution du Val.

La technologie évoluant très vite, surtout dans l'électronique, il est essentiel de soutenir un effort de recherche continu pour adapter ce système aux progrès techniques et développer éventuellement de nouveaux concepts.

Les domaines dans lesquels des évolutions importantes sont prévisibles sont:

- les applications des microprocesseurs dans les organes de commande, et notamment dans les fonctions de sécurité.

- le développement d'outils d'aide au diagnostic, à la maintenance et à l'exploitation dont l'objectif serait de réduire les risques de pannes ainsi que les temps perdus en cas de défaillance des équipements en ligne.

- les applications des hyperfréquences aux transmissions voie vers véhicules et véhicules vers véhicules; les développements actuels dans le domaine des circuits microondes permettent de nombreuses applications des hyperfréquences telles que :

- des transmissions d'informations diverses entre véhicules et infrastructures:

- . images télévisées prises de la voie à partir de l'avant du véhicule,
- . transmission de la phonie entre PC et véhicules,
- . transmission de télémesures numériques,

- des liaisons sans contact matériel entre véhicules d'une même rame, ce qui permettrait de simplifier les dispositifs d'accouplements existants.

1.7 Le Val 256.

Le Val conçu en 1975 - 1978 évolue soit pour suivre l'état de la technique soit pour s'adapter au marché. Cette évolution est marquée par l'utilisation de:

- un nouvel équipement de commandes des moteurs, hâcheur à thyristor " G T O "
- de moteurs électriques de commandes de portes

Ces perfectionnements ont permis de réduire le coût de maintenance du matériel roulant de 8% et la consommation d'énergie de 10%.

- l'application du Monoprocesseur codé a permis le fonctionnement en voie unique en automatisme intégral et donc répondre à de nouveaux modes d'exploitation imposés par exemple, par la desserte d'un aéroport.

- le roulement pneu avec voie intégrée à l'infrastructure, les pistes de roulement sont directement coulées en place sur le radier d'un viaduc lui même en général préfabriqué (exemple de Jacksonville et Taipeh). Utilisée dans les régions tempérées, cette technique donne un ouvrage léger d'aspect et économique.

- l'essieu pneu atteignant une capacité de charge de 14 tonnes qui a permis de réaliser le véhicule Val 256.

Les principales modifications du véhicule ont été dictées par la nécessité de répondre:

- soit à des trafics plus faibles qu'à Lille en concevant un véhicule à un seul élément pouvant circuler seul par opposition au véhicule à 2 éléments de Lille,

- soit à des trafics plus élevés grâce à un véhicule plus large de 50 cm et des rames de une à 6 voitures.

Principales caractéristiques du Val 256. (cf. par. Val 1.7)

La capacité du système, prévue à Taipeh par exemple, pour une ligne de 12 km comprenant 13 stations à quais latéraux de 80 m exploitée en rames de 4 voitures se situe entre 10 000 pas. / h / sens et 23 000 pas. / h / sens. pour un trafic maximum estimé à long terme de 17 000 passagers par heure et par sens sur le tronçon le plus chargé.

En conclusion, comme pour le métro léger, les constructeurs ont su faire évoluer le système avec la demande des collectivités et ainsi élargir le marché du Val:

- vers des trafics plus faibles qu'à Lille, en concevant un véhicule pouvant circuler seul par opposition aux " doublets " de Lille

- vers des trafics plus élevés grâce à un véhicule plus large pouvant circuler en unité multiple.

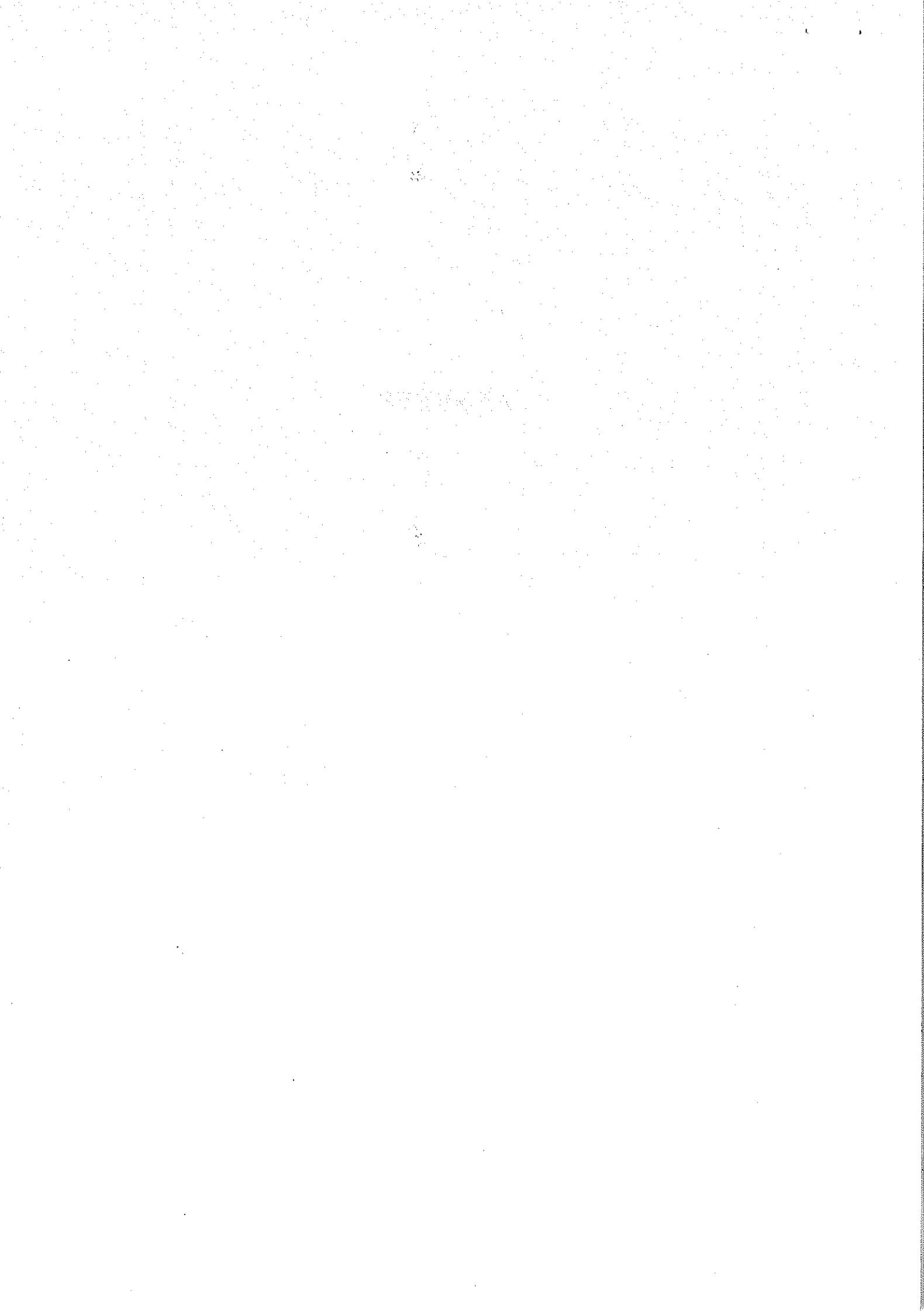
- vers un élargissement du domaine d'application avec de nouveaux modes d'exploitation qu'impose la desserte d'un aéroport par exemple, notamment la possibilité de fonctionner en voie unique en automatisme intégral.

Enfin, la souplesse d'exploitation de ce système (on peut moduler immédiatement l'offre de véhicules en fonction de la demande réelle), les facilités de gestion du personnel qu'ils apportent à l'exploitant, la qualité de service qu'il permet d'offrir à l'usager, en toute sécurité, sont des arguments tout aussi décisifs que le bilan économique de l'automatisme intégral, lors du choix d'un nouveau système de transport par une Collectivité.

REFERENCES

- Le tramway de Nantes par J Jaquemin, R Bernard, D Cornic Alsthom, dans la revue générale des chemins de fer juin 1985.
- Le matériel roulant du futur tramway de Grenoble par G. Muller, SEMITAG dans la revue Transport Public avril 1985.
- St Etienne: Descriptif Technique d'un tramway à 2 caisses articulées sur 3 bogies par Alsthom Matériels Ferroviaires et Vevey, ateliers de constructions mécaniques.
- Le métro de Lille par B.Guilleminot, CUDL et Y. David, CRESTA dans les Annales des Ponts et Chaussées 4^e trim. 1985.
- Les évolutions du Val par D. Ferbeck, Matra Transport et B. Royaux, Alsthom Colloque AFCET

ANNEXES



Matériel Roulant

1.1 Le Concours International d'idées.

Les principales caractéristiques des 2 projets lauréats.

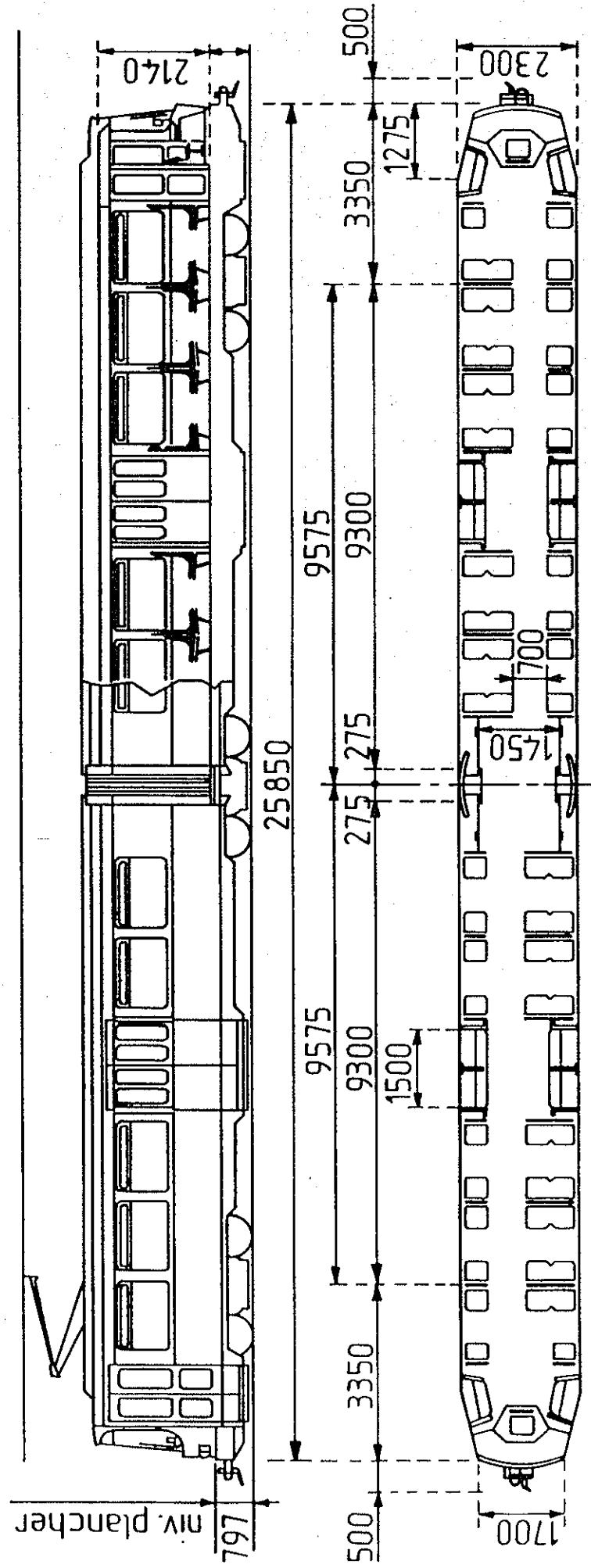
Métro Léger Alsthom Francorail MTE			Tramway MATRA BN	
Capacité	CN ¹	CM	CN	CM
places assises	58	58	58	58
places debout	85	142	85	142
total	143	200	143	200
Poids à vide	31	tonnes	33,8	tonnes
" CN	41,01	tonnes	43,81	"
Puissance à vide	13,55 kW/tonne		11,83 kW/tonne	
en CN	10,24 kW/tonne		9,13 kW/tonne	
Vitesse max. en km /heure	80		70 ou 80	
Insertion rayons mini. en courbe	20 m		20 m	
en profil en long	200 m		200 m	
Emprise en courbe rayon de 20 m	3,40 m		3,50 m	
Pente maxi	6%		6%	
Hauteur plancher roues mi usées en mètre	0,7975 m susp. mixte		0,750 m	
	0,7775 m susp.pneu.			
largeur hors tout	2,30 m		2,30 m	
longueur	25,85 m		24,61 m	

(1) CN: charge normale, soit 4 personnes au m².
CM:charge maximale, soit 6,6 personnes au m².

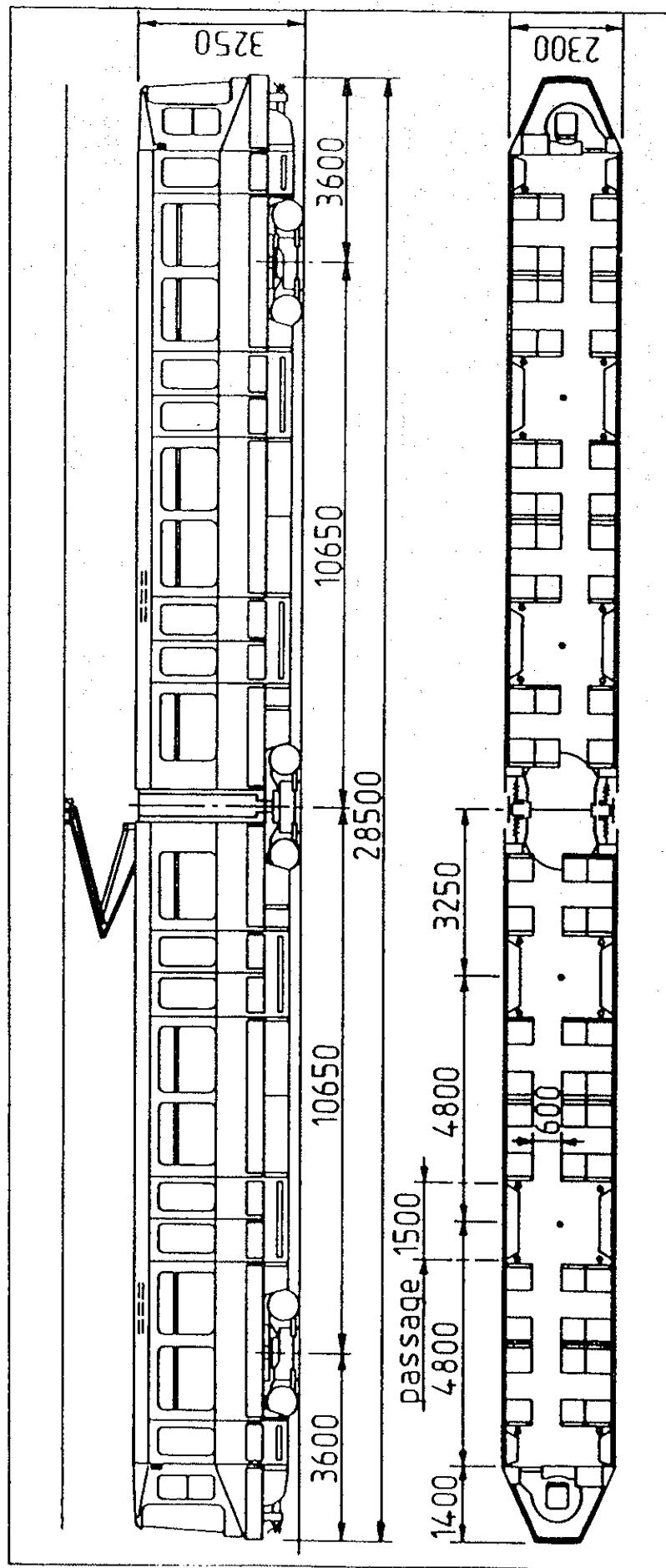
2.2 Comparaison de la capacité du Métro léger et du TFS.

Caractéristiques	Métro Léger	TFS
Longueur	25,85 m	28,50 m
Largeur caisse	2,30 m	2,30 m
Capacité		
Places assises	58	60
Places debout (CN)	85	108
Total en CN	143	168
Places debout (CM)	140	178
Total en charge max.	198	238

Ce tableau montre une évolution de 17,5% de la capacité en charge normale et de 20% en charge maximale.

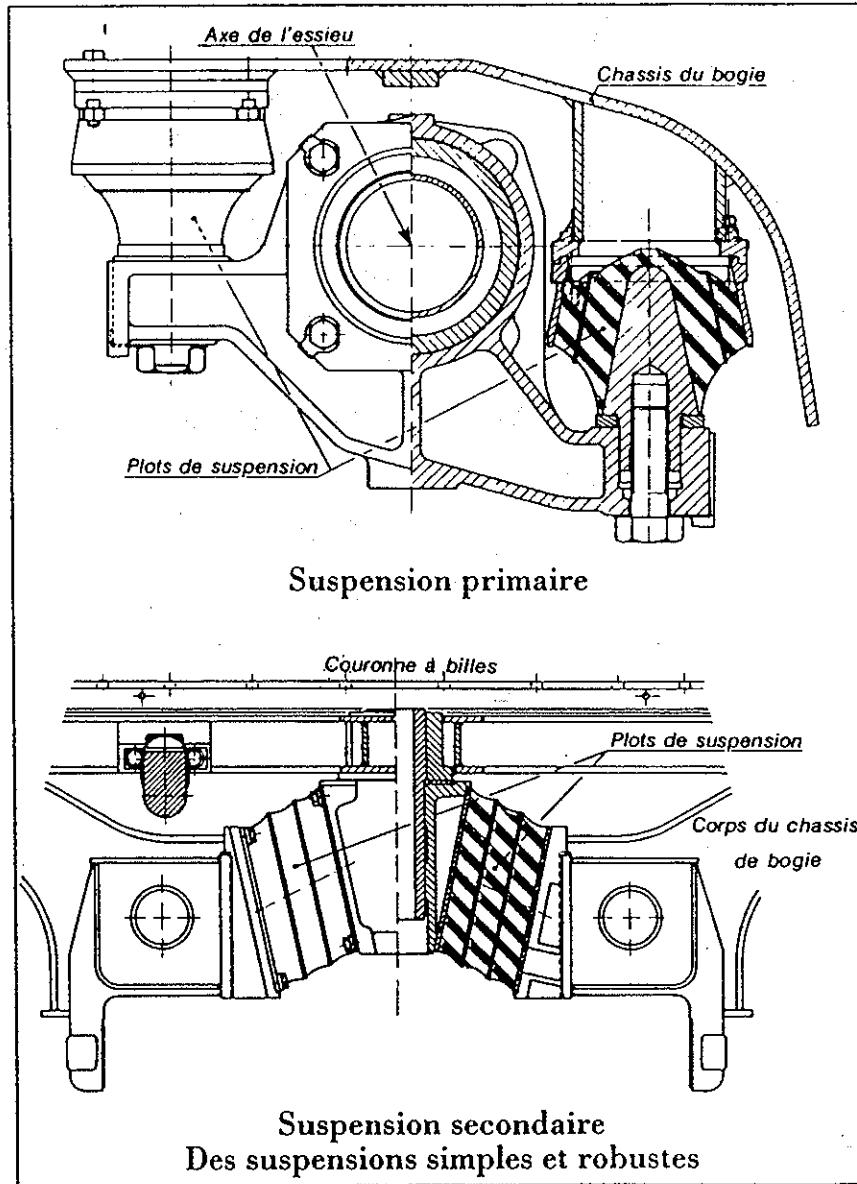


Concours du secrétariat aux transports : diagramme.



— Tramway de Nantes : diagramme.

3.3 Bogies.



3.3 Le moteur.

Les caractéristiques principales du moteur TAO 679 sont:

Quadripolaire avec pôles de commutation et bobinage de compensation.

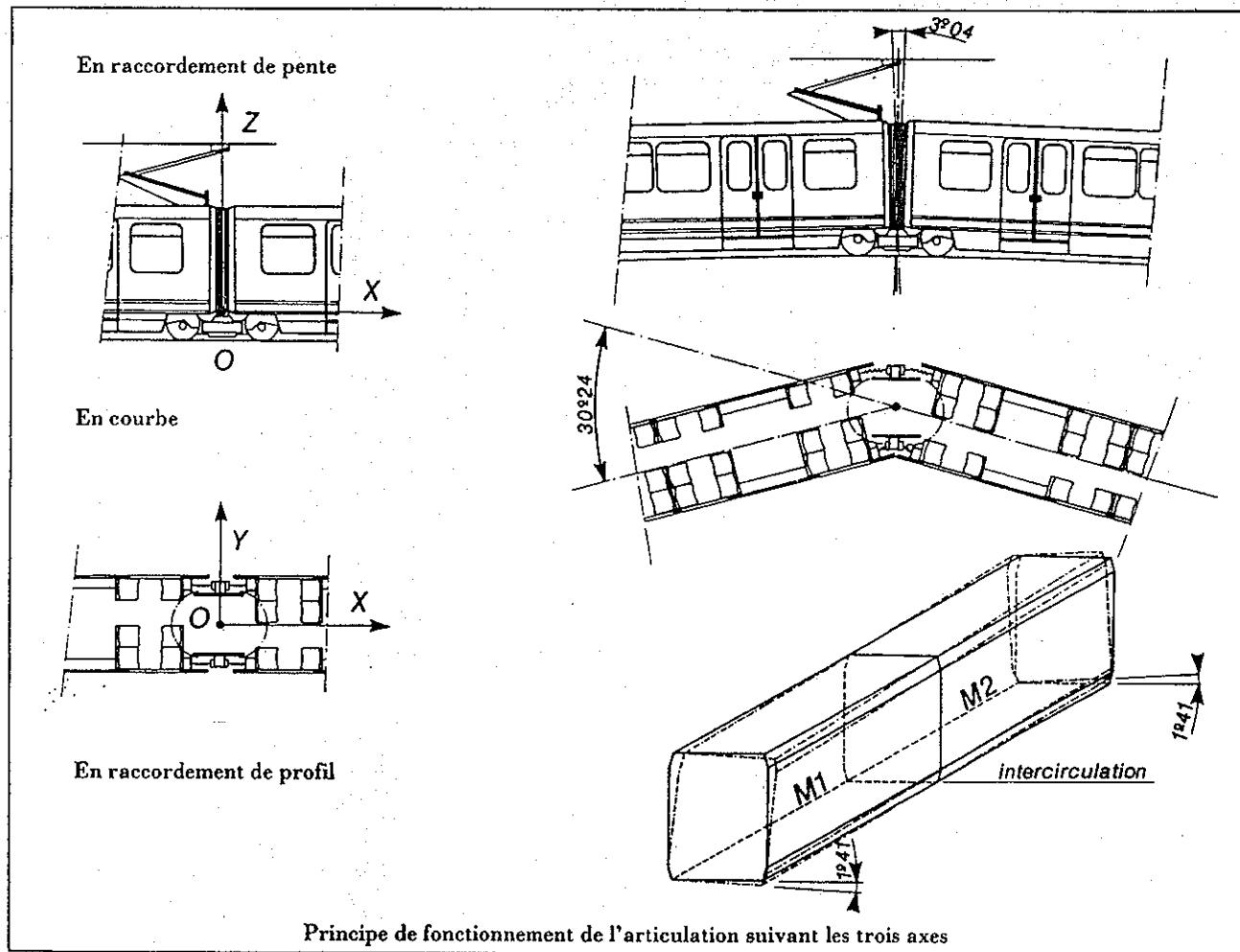
Excitation composée, série et séparée

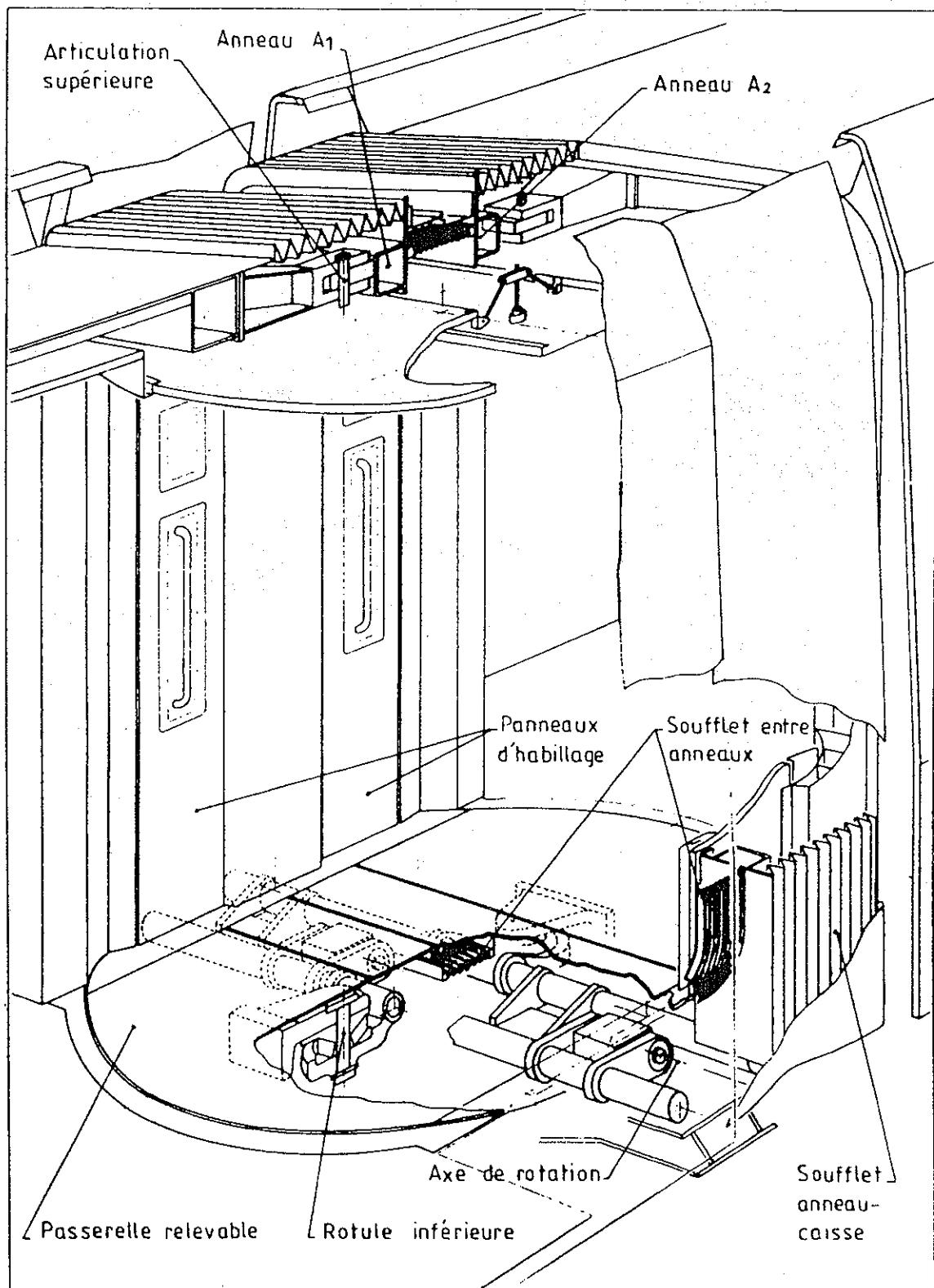
- en régime nominal

Tension	750 V
Intensité	400 A
Vitesse	1615 tours / mn
Puissance	276 kW
- Intensité maximale admissible	675 A
- Vitesse maximale en service	3310 tours / mn

Autoventilé, alimentation classique ou par hacheur.

3.4 Articulation





Matériel Roulant : TFS**3.6 Performances.**

En charge normale (172 passagers) le tramway a une masse de 51,8 tonnes.

Les performances mesurées sous une tension nominale de 750 volts continu sont:

Vitesse maximale	80 km / h
Jerk réglable entre	0,6 et 1,3 m / s^2
Accélération maximale au démarrage	1,10 m / s^2
Freinage normal	1,50 m / s^2
Freinage d'urgence	3,00 m / s^2
Adhérence au démarrage	18 %

Matériel Roulant: TFS

3.7 Capacité du système.

Rappel

Capacité du TFS en CN	172 passagers
en CM	238 passagers

Le véhicule de 2 caisses peut être transformé en un véhicule de 3 caisses, cette adjonction permet:

- un accroissement de la surface utile qui passe de 51,8 m² à 70,8 m²

	véhicule 2 caisses	véhicule 3 caisses
Places assises	56	74 (dont 12 partie plain pied)
Places debout en CN	116	165 (dont 34 " " ")
total	172	239
en CM	191	272 (dont 56 " " ")
total	247	346
en CE	232	330 (dont 68 " " ")
total	288	404

Avec un intervalle de 2 mn, la capacité du système avec un véhicule à 2 caisses peut atteindre:

Unité multiple	1 élément	2 éléments	3 éléments
en CN 172 x 30 =	5160 pas.	10 320 pas.	15 480 pas.
en CM 247 x 30 =	7410 pas.	14 820 pas.	22 230 pas.
en CE 288 x 30 =	8640 pas.	17 280 pas.	25 920 pas.

Avec le même intervalle et un véhicule de 3 caisses:

en CN 239 x 30 =	7170 pas.	14 340 pas.	21 510 pas.
en CM 346 x 30 =	10 380 pas.	20 760 pas.	31 140 pas.
en CE 404 x 30 =	12 120 pas.	24 240 pas.	36 360 pas.

Le Matériel Roulant: TFS

4.2 Le bruit.

Le niveau de bruit extérieur est acceptable, avec:

- à 70 km / h un niveau de bruit de 78 dBA.
contre 82 dBA pour une voiture et 91 dBA pour un poids lourd.
- à 40 km / h un niveau de bruit de 75 dBA.

Le niveau de bruit intérieur est acceptable, avec:

- à 70 km / h un niveau de bruit de 68 dBA.
- à 40 km / h un niveau de bruit de 65 dBA.

3 types de précautions ont été prises pour réduire le bruit à un niveau compatible avec le fond sonore ambiant:

- **au niveau du projet**, le tracé évite les courbes de faible rayon, à Nantes $R > 50$ m.
- **au niveau de la réalisation**, on a adopté la pose de voie "élastique" en ballast et la pose sur mastic d'asphalte en voie encastrée complétée par la roue élastique sur le véhicule.
- **au niveau de l'entretien**, l'utilisation d'un tour de roue pour rectifier les bandages de roues et le meulage préventifs des rails .

Le Matériel Roulant

5.2 Caractéristiques comparées des tramways de Nantes et de Grenoble.

	Nantes	Grenoble
Longueur hors tout	28,50 m	29,40 m
Largeur hors tout	2,30 m	2,30 m
Hauteur plancher		
partie haute	0,875 m	0,875 m
partie basse	/	0,345 m
Entr' axe des bogies	10,65 m	11,30 m
Empattement bogie moteur	1,90 m	1,90 m
Ecartement des roues	1,435 m	1,435 m
Diamètre des roues à l'état neuf	0,660 m	0,660 m
Capacité en CN	4/m ²	172
	en CM	6,6/m ²
	en CE	8/m ²
		247
		288
Puissance unihoraire sous 750 V en kW	550	550
Vitesse maxi (km / h)	80	70
Masse à vide (en tonne)	40,1	44,6
	en CN	51,8
	en CM	57,4
		56,8
		62,2

Le Matériel Roulant

5.2 Performances.

Traction

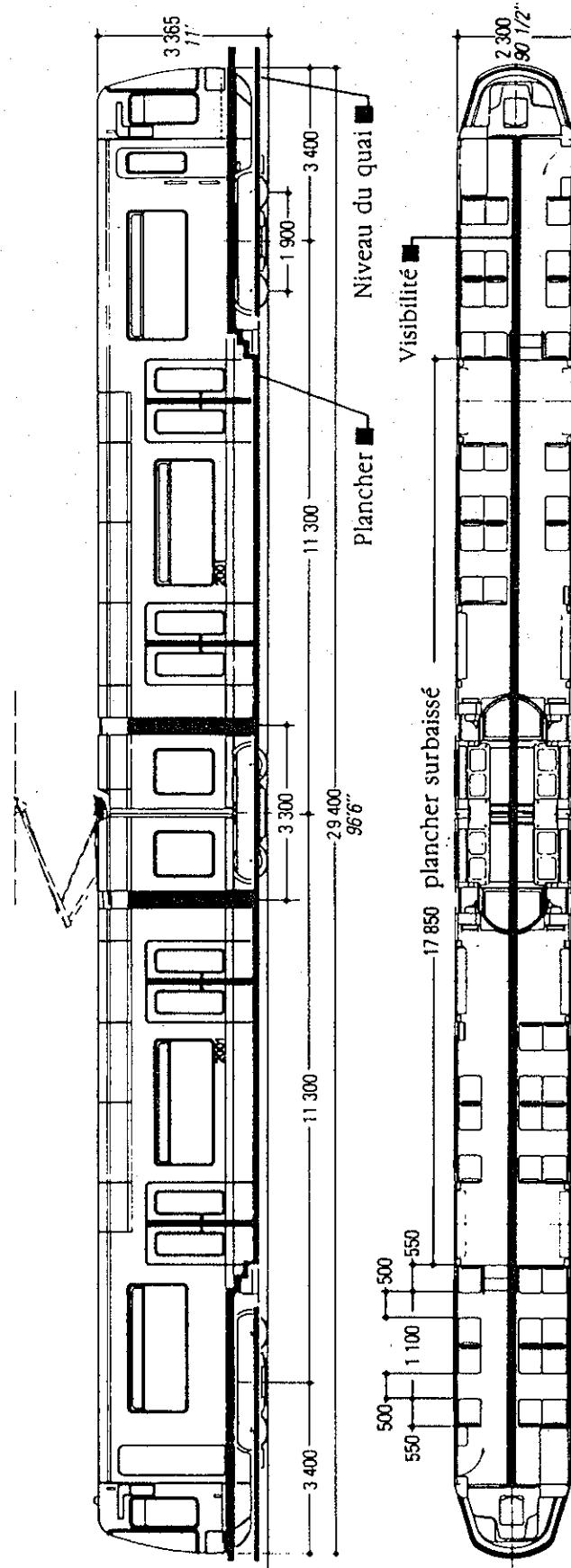
	Nantes	Grenoble
en charge maxi.	57 tonnes	62 tonnes
Vitesse max.	70 km/h	70 km/h
Accélération résiduelle à 70 km/h	0,4 m/s ²	0,27 m/s ²
Acc. de 0 à 40	1,025 m/s ²	0,92 m/s ²
Acc. de 0 à 60	0,8 m/s ²	0,76 m/s ²
Acc. de 0 à 70	0,73 m/s ²	0,66 m/s ²
Parcours de 600 m	49 sec. (rampe 0,42 o/ooo)	56 sec. en palier

Freinage

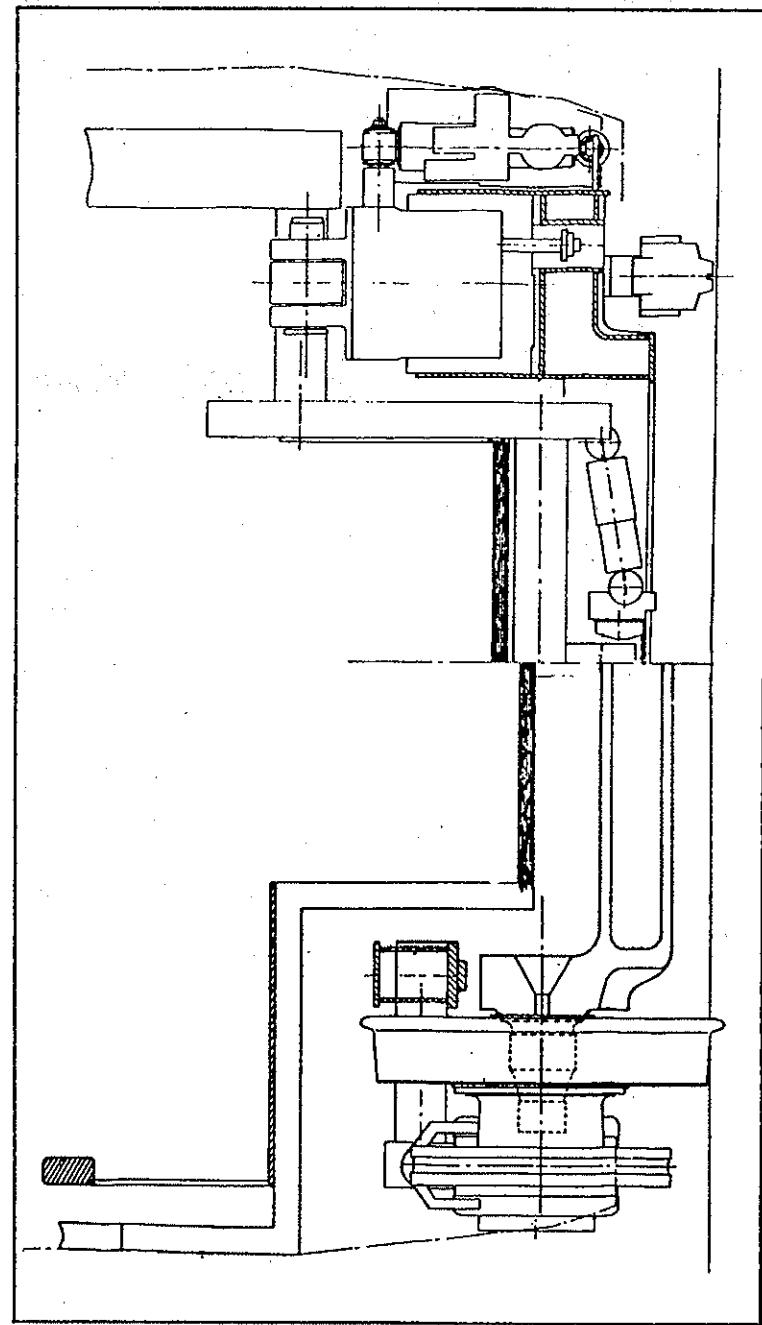
Conjugaison de freinage

FNS de 60 km/h à 0	1,24 m/s ²	1,20 m/s ²
FMS de 60 km/h à 0	1,51 m/s ²	1,50 m/s ²
FU de 60 km/h à 0	2,74 m/s ²	2,9 m/s ²

En charge maximale sous tension de 750 volts avec des roues neuves et un moteur inactif, le démarrage est possible en rampe de 6% .



Le Diagramme du tramway de Grenoble



Bogie porteur du tramway de Grenoble; vue en coupe.

Le Matériel Roulant à voie métrique

6.3 Bogies et moteurs.

	bogie moteur	bogie porteur
Ecartement	1 m	1 m
Empattement	1,80 m	1,00 m
Diamètres des roues	560 / 500 mm	410 / 370 mm
Masse	4000 kg	1900 kg
Suspension primaire	ressort à chevrons	
Suspension secondaire	ressort hélicoïdaux + amortisseurs hydrauliques.	

Le moteur et l'alimentation électrique.

Le moteur est à excitation séparée, du type 4 ELF 1852, ses principales caractéristiques sont:

- 4 pôles principaux.
- basse vitesse de définition, fort couple par ampère (consommation réduite).
- pôles de commutation et de compensation.
- 1 hacheur par moteur
- autoventilation.

en régime nominal à 600 volts.

Puissance 138 kW

Courant induit 250 A

Vitesse de rotation 2000 t / mn

Vitesse maxi. 4165 t / mn

Contrôle par microprocesseur de l'antipatinage et de l'antienrayage

Convertisseur statique 600 V CC / 240 CC , 380 / 220 V CA 3 phases

Batterie 24 V 170 AH

Le Matériel Roulant à voie métrique

6.4 Les performances et les caractéristiques.

Les performances sont calculées pour une tension moteur maximale de 550 V en palier et en charge maxi soit 39,7 tonnes.

- Vitesse maxi	70 km / h
- Accélération maximale au démarrage	1,2 m / s ²
- Accélération moyenne de 0 à 40 km / h	0,88 m / s ²
- Freinage d'urgence	3,22 m / s ²

Les principales caractéristiques du futur tramway de St Etienne sont:

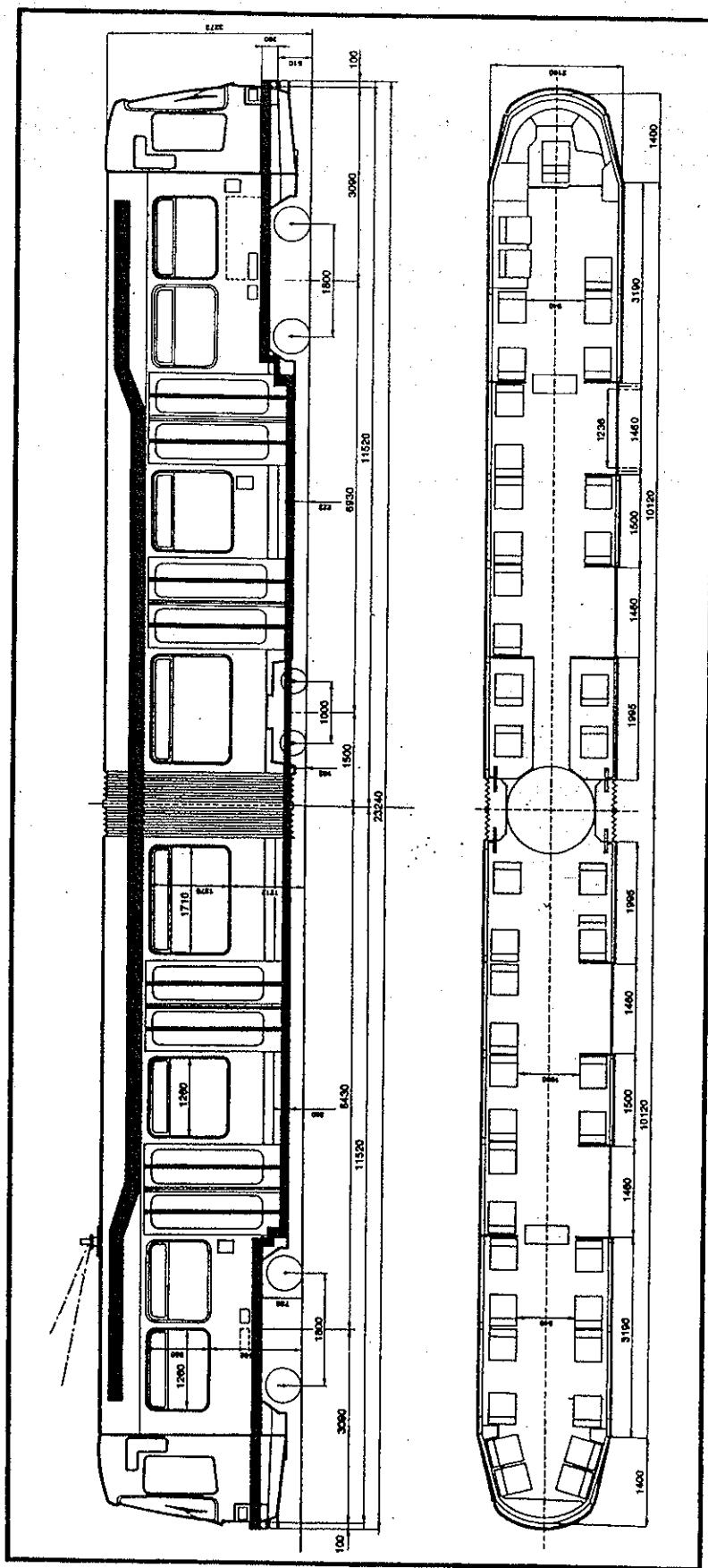
- Longueur hors tout	23,19 m
- Largeur hors tout	2,12 m
- Hauteur de plancher bas de plancher haut	0,35 m 0,71 m
- Longueur plancher bas	14 m
- Rayon mini. en courbe	18 m
- Pente admissible	6%
- Diamètre des roues neuves	560 mm 410 mm
- Portes 1 = 1,24 x h = 2,20	4 pour 1 face
- Capacité	

Places assises 42 Total

Places debout

en CN	92	134
en CM	162	204
en CE	184	226

- Masse à vide	26 tonnes
en CN	34,7 tonnes
en CM	39,3 tonnes
en CE	40,7 tonnes



Le diagramme du futur tramway de Saint-Etienne

Le matériel roulant: le métro léger " Brésilien ".

7.3 Performances.

7.3.1 Composition de la rame.

- Unité simple

Unidirectionnelle, composée de 2 caisses articulées reposant sur 2 bogies moteurs et 1 bogie porteur médian.

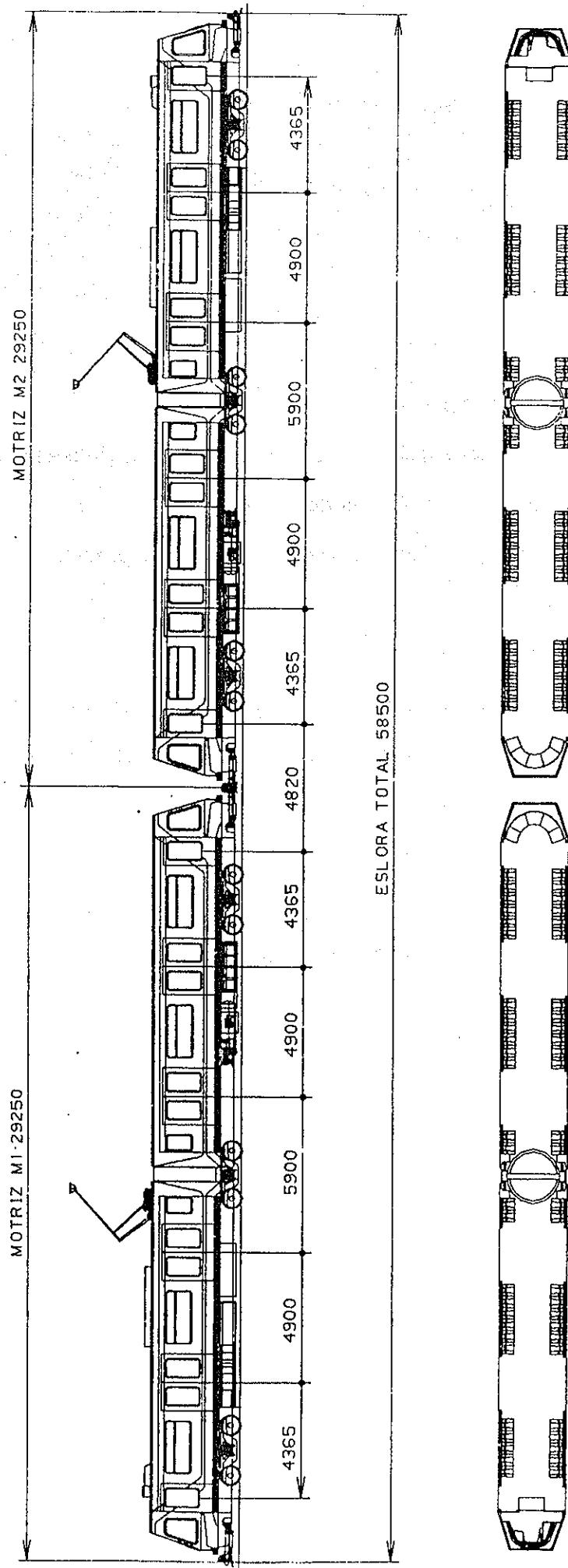
Cette unité n'est pas prévue pour fonctionner seule.

- Unité double

Cette formation (2 unités simples accouplées) est la composition type permettant un débit de 15 000 pas. / h / sens: elle est bidirectionnelle.

- Unité triple

Formation de 3 unités simples accouplées, elle est bidirectionnelle et permet un débit de 36 000 pas./ h / sens.



FORMACION DE BASE

ALSTHOM
CADS DESIGN
MASCRE

Le matériel roulant: le métro léger " Brésilien ".

7.3.2 Caractéristiques dimensionnelles d'une unité simple.

Longueur entre attelage	29,250 m
Largeur de la caisse	2,650 m
Hauteur du plancher / rail	0,950 m
Hauteur sous plafond	2,100 m
Entr'axes entre pivots	10,400 m
Masse à vide	40 tonnes
en charge (6 pas. / m ²)	61 tonnes

7.3.3 Accessibilité

L'accès à bord s'effectue par:

- 4 portes doubles, largeur 1,800 m
- 2 portes simples, largeur 0,820 m

par face.

Le quai d'embarquement est prévu au même niveau que celui du plancher (0,950 m)

L'option de l'emmarchement est possible moyennant un réaménagement du dessous de caisse.

Capacité unitaire

En charge normale 6 pas./ m ²	59 places assises 241 pas. debout ----- total	300 passagers
En charge maximum 9 pas. / m ²	361 pas. debout ----- total	420 passagers

Le matériel roulant: le métro léger " Brésilien "

7.3.4 Performances.

Vitesse maxi.	70 km / h
Vitesse commerciale	32 km / h
dont - arrêt en station	20 s
- interstation	750 m moyen
Accélération max. (charge 6 pas./m ²)	1,2 m / s ²
Décélération max. de service	1,5 m / s ²
Décélération d'urgence	2,8 m / s ²
Jerk max	1,2 m / s ²
Courbe minimale	25 m
Rayon mini en profil	200 m
Rampe max	6%

Le matériel roulant: le métro léger " Brésilien ".

7.3.5 La caisse.

Le chaudron

De fabrication locale, la structure peut être en acier noir ou en acier inoxydable.

L'avant du chaudron A est aménagé en cabine de conduite, l'arrière du chaudron B est aménagé en salon pour recevoir des sièges.

Aménagements intérieurs

Au plafond sont installés l'éclairage et la ventilation (200 renouvellements / heure).

Les sièges ergonomiques, individuels, sont installés le long des parois latérales et dans le salon. La largeur de caisse permet un arrangement à 4 sièges de front.

Portes et baies

Les portes sont du type " coulissantes extérieures ", les blocs de fenêtres sont alignés sur leur niveau supérieur. Elles sont en verre teinté.

Bogies

Bogie moteur:

Monomoteur, disposé longitudinalement au centre du bogie. Sur chaque essieu sont calées 2 roues monoblocs ou élastiques.

Le freinage est assuré par 2 cylindres pneumatiques qui attaquent les garnitures par l'intermédiaire d'une timonerie. Le disque de frein est calé sur l'essieu. Un patin électromagnétique est monté sur chaque côté du bogie. Le bogie comporte 2 étages de suspension.

Bogie porteur:

De même conception que pour le bogie moteur, le châssis est adapté pour le montage de 4 ensembles de freinage au lieu de 2.

Option d'une suspension pneumatique

L'installation d'une suspension pneumatique est possible.

Le matériel roulant: le métro léger " Brésilien "

7.3.6 Propulsion - Freinage.

Moteur de traction

Le moteur retenu est du type moteur à courant continu à excitation séparée.

Régime continu:

Puissance	250 kW
Tension	750 V
Intensité	370 A
Vitesse de rotation	1900 tours / mn.

Traction

a / 2 bogies moteurs, charge normale

Accélération: $1,2 \text{ m} / \text{s}^2$ jusqu'à 27 km / h

Accélération résiduelle: $0,12 \text{ m} / \text{s}^2$ à 70 km / h

b / 1/2 motorisation (1 élément isolé), rampe 6% charge normale

Accélération démarrage: $0,13 \text{ m} / \text{s}^2$

Freinage

Le freinage de service est assuré par la conjugaison des freins électriques et mécaniques.

Frein électrique:

Prioritaire, il peut assurer seul les décélérations suivantes en charge normale:

Décélération électrique à 70 km / h $0,65 \text{ m} / \text{s}^2$

Décélération électrique à 35 km / h $1,3 \text{ m} / \text{s}^2$

Par récupération d'énergie dans la ligne ou sous forme rhéostatique.

Frein mécanique:

De type pneumatique direct.

Bogie moteur:

- 1 disque sur chaque essieu

- 2 cylindres pneumatiques par bogie avec frein d'immobilisation (FI)

- 1 pilote électropneumatique direct avec électrovalve d'antienrayage.

Bogie porteur:

- 2 disques sur chaque essieu

- 4 cylindres pneumatiques par bogie

- 1 pilote électropneumatique direct avec électrovalve d'antienrayage.

Patins électromagnétiques

Chaque bogie est muni de 2 freins à patins électromagnétiques.

Freinage d'urgence

Il est obtenu par superposition des 3 types de frein. L'antienrayage est conservé en freinage d'urgence pour se prémunir des plats aux roues.

Performances de freinage

Freinage normal de service, décélération moyenne $1,5 \text{ m/s}^2$

Freinage d'urgence, décélération moyenne $2,8 \text{ m/s}^2$

Le matériel roulant : le métro léger " Brésilien "

7.3.7 Equipements électriques

Traction - Freinage

Le captage du courant se fait à partir d'un seul pantographe situé en toiture à l'arrière de la motrice avant.

Un coffre, installé sur la motrice avant, alimente les 2 bogies de l'élément simple. Il contient les différents équipements dont le hacheur de courant induit, de freinage rhéostatique, un contacteur de commutation traction / freinage, un disjoncteur ... etc.

Auxiliaires *Equipements auxiliaires électriques*

Energie auxiliaire

4 options sont proposées; elles dépendent des caractéristiques des fournitures locales d'équipements auxiliaires (éclairage, ventilation...etc), des parts respectives dans le bilan de consommation du courant continu et du triphasé, des préférences du client...

Installation des équipements

Ces équipements installés sous le châssis de la motrice arrière comprennent:

- un convertisseur statique (CVS)
- une batterie d'accumulateurs

Equipements pneumatiques

Ces équipements installés sous le châssis de la motrice arrière comprennent:

- un groupe motocompresseur
- un coffre pneumatique
- un réservoir d'air principal de 400 litres

L'air comprimé est utilisé pour la commande des équipements de freinage, des portes, et les organes d'attelages.

7.3.8 Caractéristiques comparées:

des tramways de Nantes, de Grenoble et du projet " Brésilien ".

	Nantes	Grenoble	Projet
Longueur hors tout 29,25 m	28,50 m	29,40	29,25 m
Largeur hors tout	2,30 m	2,30 m	2,65 m
Hauteur plancher			
partie haute	0,875 m	0,875 m	0,950 m
partie basse	/	0,345 m	
Entr' axe des bogies	10,65 m	11,30 m	10,40 m
Empattement bogie moteur	1,90 m	1,90 m	1,90 m
Ecartement des roues	1,435 m	1,435 m	1,600 m
Diamètre des roues à l'état neuf	0,660 m	0,660 m	0,710 m
Capacité en CN 4/m ²	172	174	220
en CM 6,6/m ²	247	252	300 6p/m ²
en CE 8/m ²	288	294	420 9p/m ²
Puissance unihoraire sous 750 V en kW	550	550	500
Vitesse maxi (km / h)	80	70	70
Masse à vide (en tonne)	40,1	44,6	40
en CN	51,8	56,8	61
en CM	57,4	62,2	69,4

Le Matériel Roulant

7.3.8 Performances.

Traction

	Nantes	Grenoble	Projet
en charge maxi.	57 tonnes	62 tonnes	61 tonnes (CN)
Vitesse max.	70 km/h	70 km/h	70 km/h
Accélération résiduelle à 70 km/h	0,4 m/s ²	0,27 m/s ²	0,12 m/s ²
Acc. de 0 à 40	1,025 m/s ²	0,92 m/s ²	1,2 m/s ²
Acc. de 0 à 60	0,8 m/s ²	0,76 m/s ²	
Acc. de 0 à 70	0,73 m/s ²	0,66 m/s ²	
Parcours de 600 m (rampe 0,42 0/ooo)	49 sec.	56 sec. en palier	

Freinage

Conjugaison de freinage

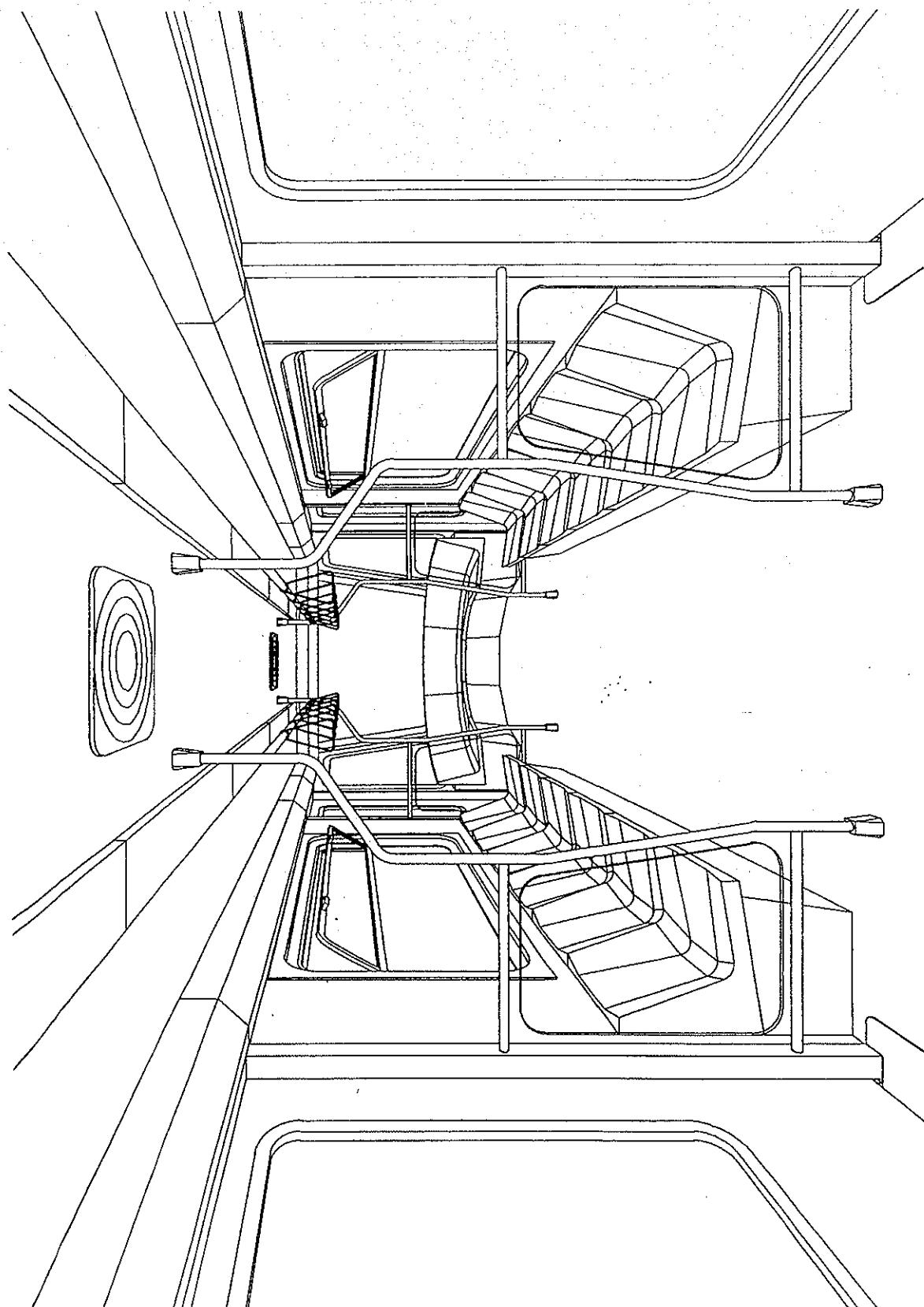
FNS de 60 km/h à 0	1,24 m/s ²	1,20 m/s ²	1,30 m/s ²
FMS de 60 km/h à 0	1,51 m/s ²	1,50 m/s ²	1,50 m/s ²
FU de 60 km/h à 0	2,74 m/s ²	2,9 m/s ²	2,8 m/s ²

En charge maximale sous tension de 750 volts avec des roues neuves et un moteur inactif, le démarrage est possible en rampe de 6% .

Le matériel roulant: le métro léger " Brésilien "

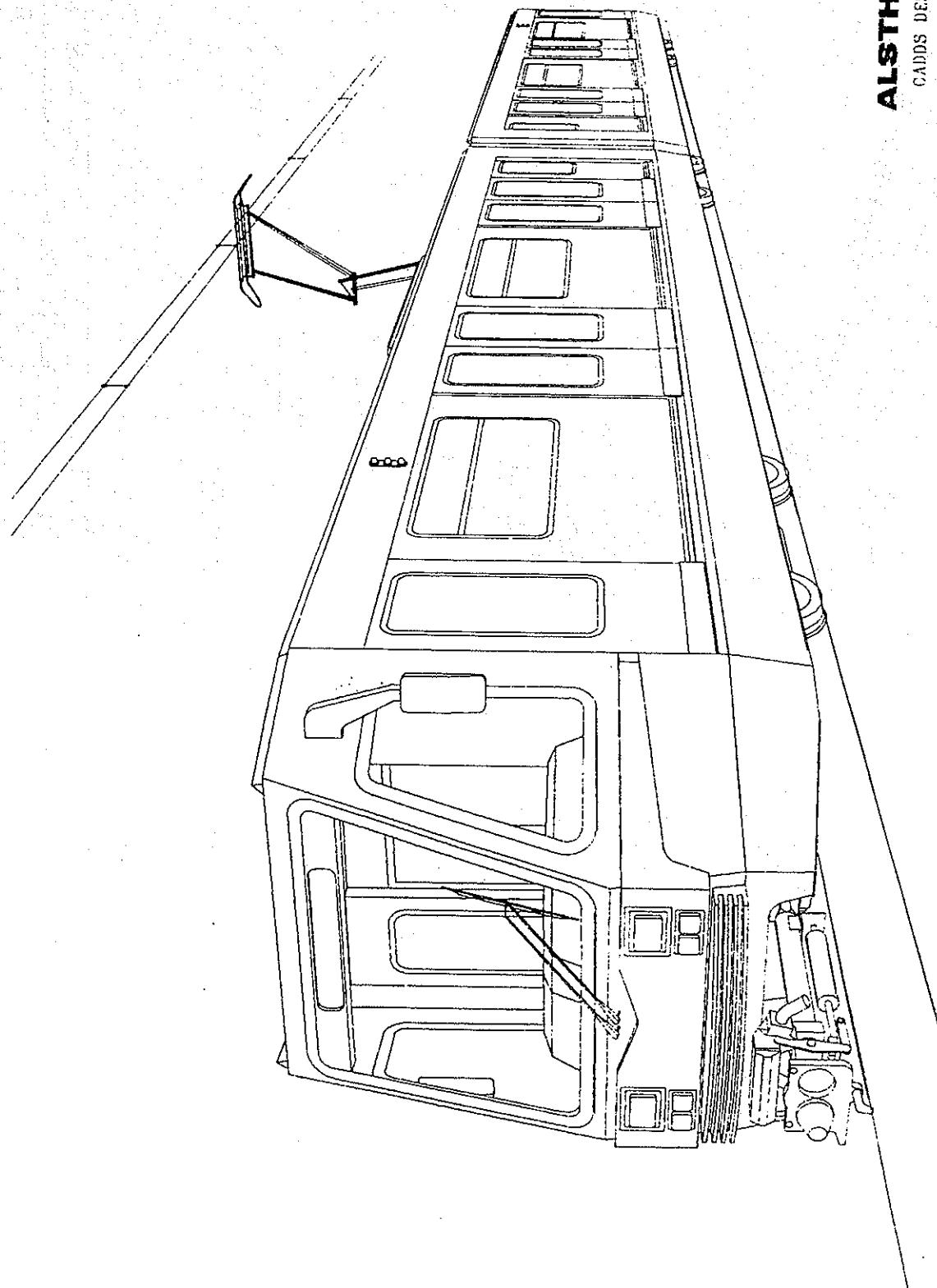
7.3.8 Les options possibles

- Le fonctionnement en unités simples
- L'emmarchement pour accès à partir d'un trottoir
- Le conditionnement d'air pour les voyageurs
- La suspension pneumatique
- Le pilotage automatique
- L'automate programmable et multiplexage des lignes de train
- Les roues élastiques
- Le frein inverse
- La chaîne de traction asynchrone.



ALSTHOM matériel ferroviaire		TOUR NEPTUNE CEDEX 20 92086 PARIS LA DEFENSE		47 44 80 0
		TRK	8 037 342	
Dessiné	Date	Nom		
17-03-1988		MASCHRE		
Vérifié				
		Ordonné :	DTR-TMA	
				
			A1	
			1er état	

TRAMWAY BRESILIEN



ALSTHOM
CADDIS DESIGN
MACCREF

VAL

1.4 L'effectif du métro de Lille.

A l'heure de pointe du matin, alors que les 36 stations avec leurs divers équipements sont ouvertes au public, que 65 rames sont en circulation et que 40 000 personnes sont présentes dans le système, l'exploitation nécessite des effectifs:

8 personnes au PCC contrôlant et commandant le trafic

3 personnes itinérantes en ligne

L'effectif complet assurant ces fonctions 24 heures par jour, et 365 jours par an, est de 49 personnes encadrement compris.

L'ensemble de l'effectif est de :

- pour les opérations	111 personnes
- pour la maintenance	
du matériel roulant	59 personnes
équipements fixes	34 personnes
voie	23 personnes
stations	11 personnes
- les méthodes et logistique	14 personnes
- la sécurité	3 personnes
soit un effectif total de	255 personnes

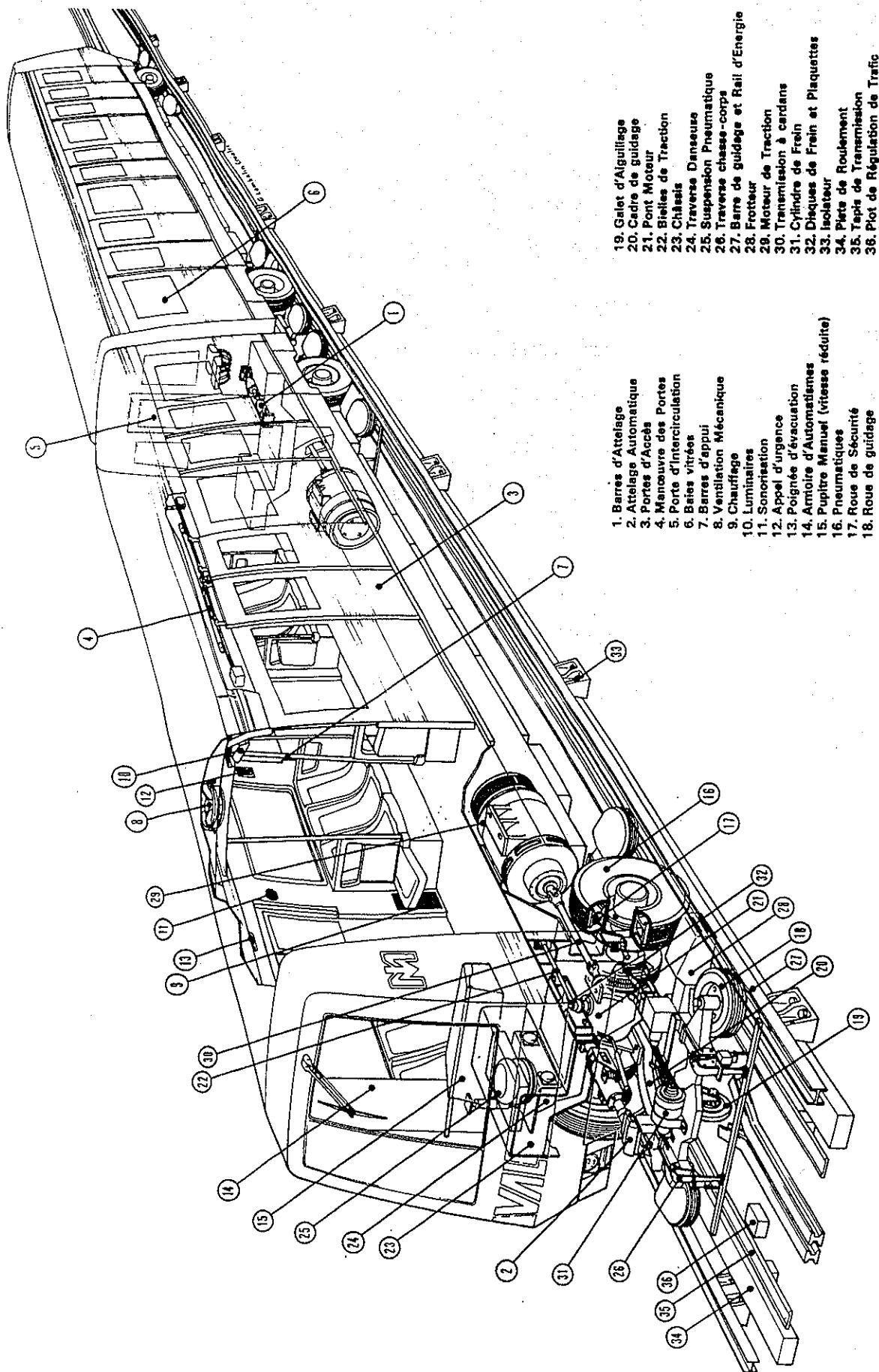
1.5 Le Matériel Roulant, Val 206.

- Caractéristiques géométriques

- longueur:	26,140 m
- largeur:	2,06 m
- hauteur:	3,25 m
- hauteur intérieure	2,04 m
- hauteur de plancher	0,95 m
- portes de 1,30 x 1,90	3 par faces
- capacité	
en charge normale	68 places assises 56 places debout
total	124 places
en charge maximum	44 places assises 116 places debout
total	160 places
en charge exceptionnelle	44 places assises 164 places debout
	208 places
- poids à vide	29,5 tonnes
en C N	38 tonnes
en CM	45,5 tonnes

- Propulsion

- . 4 moteurs à excitation série par voiture
- . puissance 4 x 151kW sous 750 V
- . hacheur
- . freinage électrique conjugué avec freinage à friction
actionné par système pneumatique.



Le VAL 206; vue écorchée

- Caractéristiques cinématiques

. vitesse nominale	60 km / h
. vitesse maximale	80 km / h
. accélération au démarrage	1,3 m / s ²
. décélération nominale	1,3 m / s ²
. décélération maximale	2,4 m / s ²
. démarrage en rampe de 7% en poussant une rame inerte en CM	

- Caractéristiques de la ligne

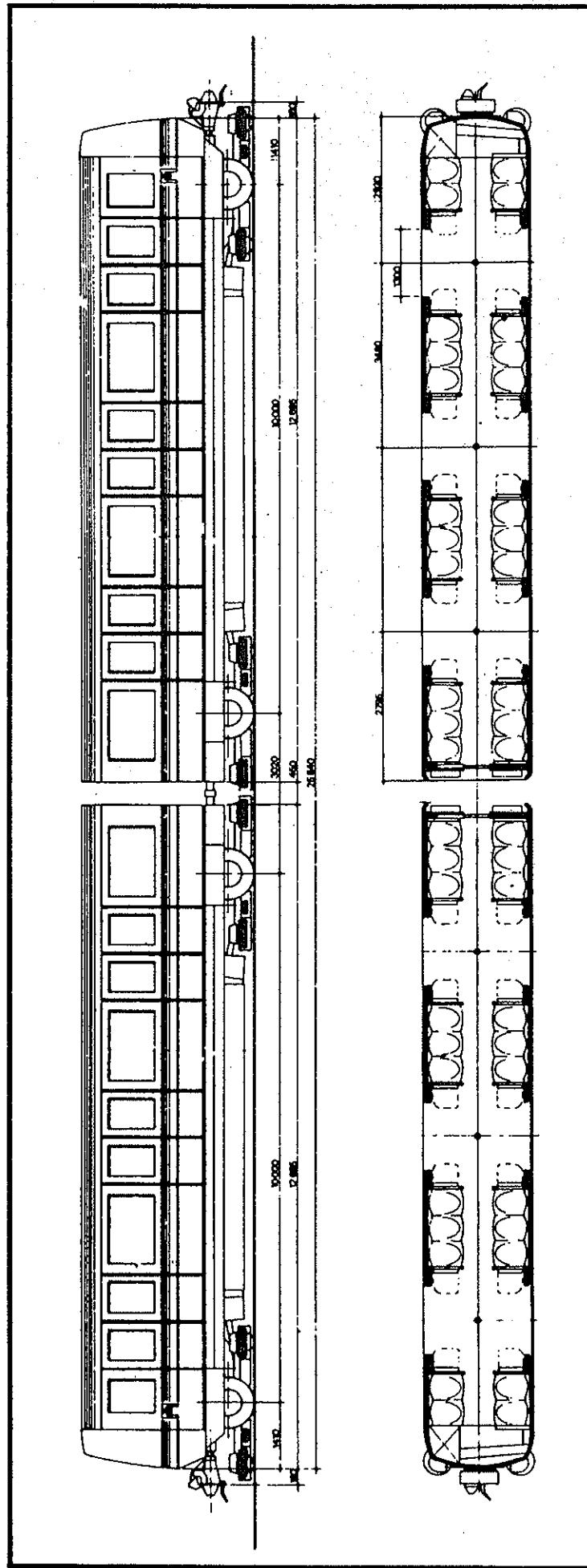
. vitesse commerciale	34,2 km / h
. intervalle minimal	1 minute
	à l'heure de pointe 72 sec.aux heures creuses 4 mn.
. capacité du système	
en charge normale	4500(1) à 7500 (2)pas./h /sens
en charge maxi.	5760(1) à 9600(2)pas./h/sens

dans l'avenir avec des rames de 2 éléments,

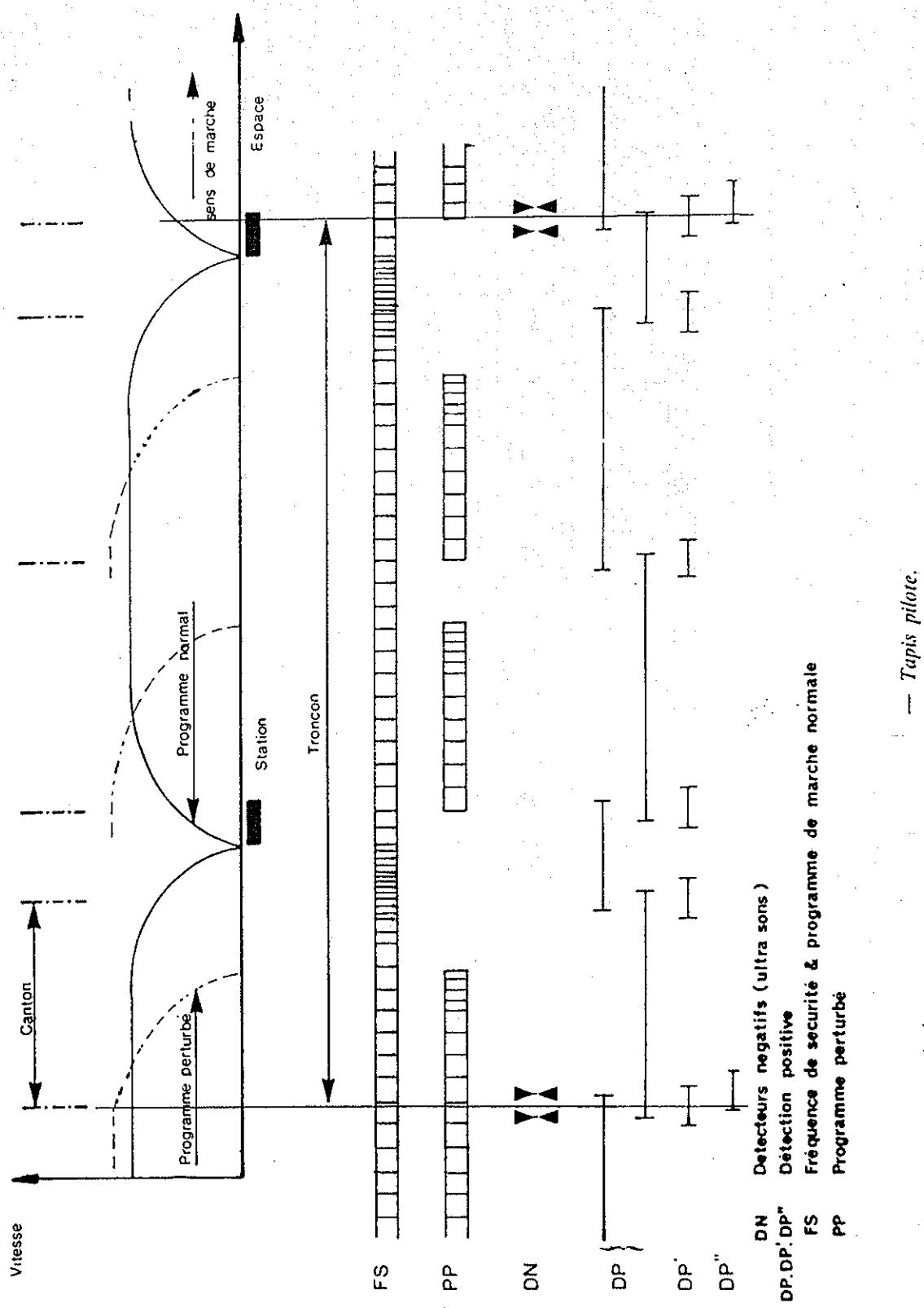
en charge normale	9000 (1) à 15 000 (2) pas./h/sens
en charge maxi.	11 520 (1) à 19 200 (2) pas./ h / sens

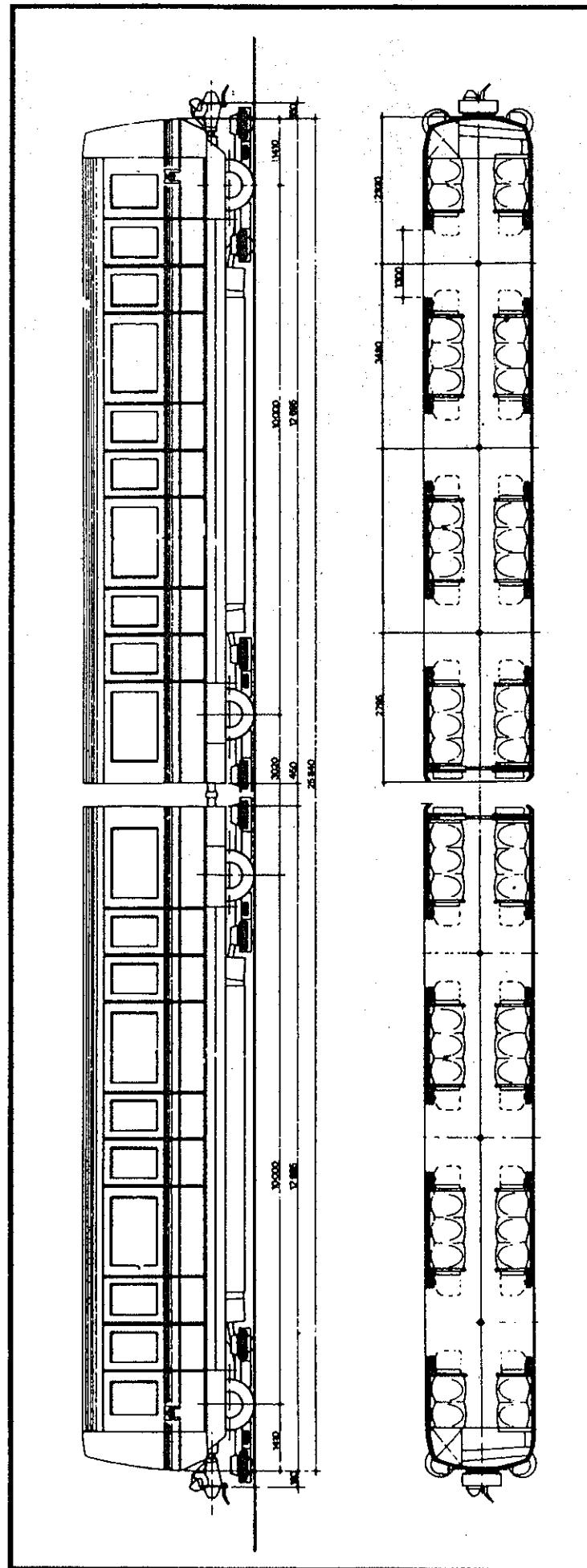
(1) avec un intervalle de 1mn.40 s.

(2) avec un intervalle de 1mn.

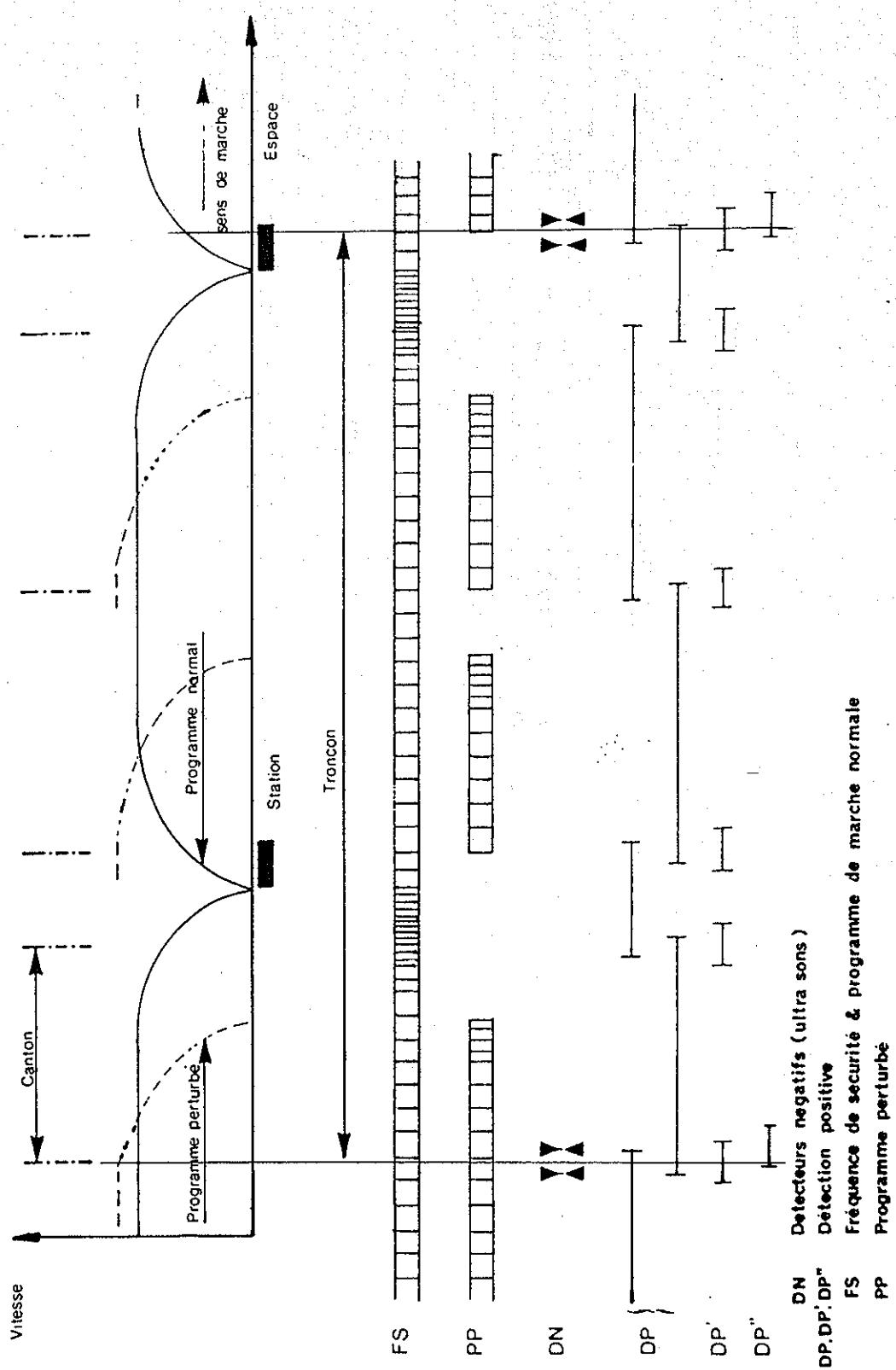


Le diagramme du Val 206





Le diagramme du Val 206



VAL

1.7 Le Matériel Roulant, le Val 256.

- Caractéristiques géométriques

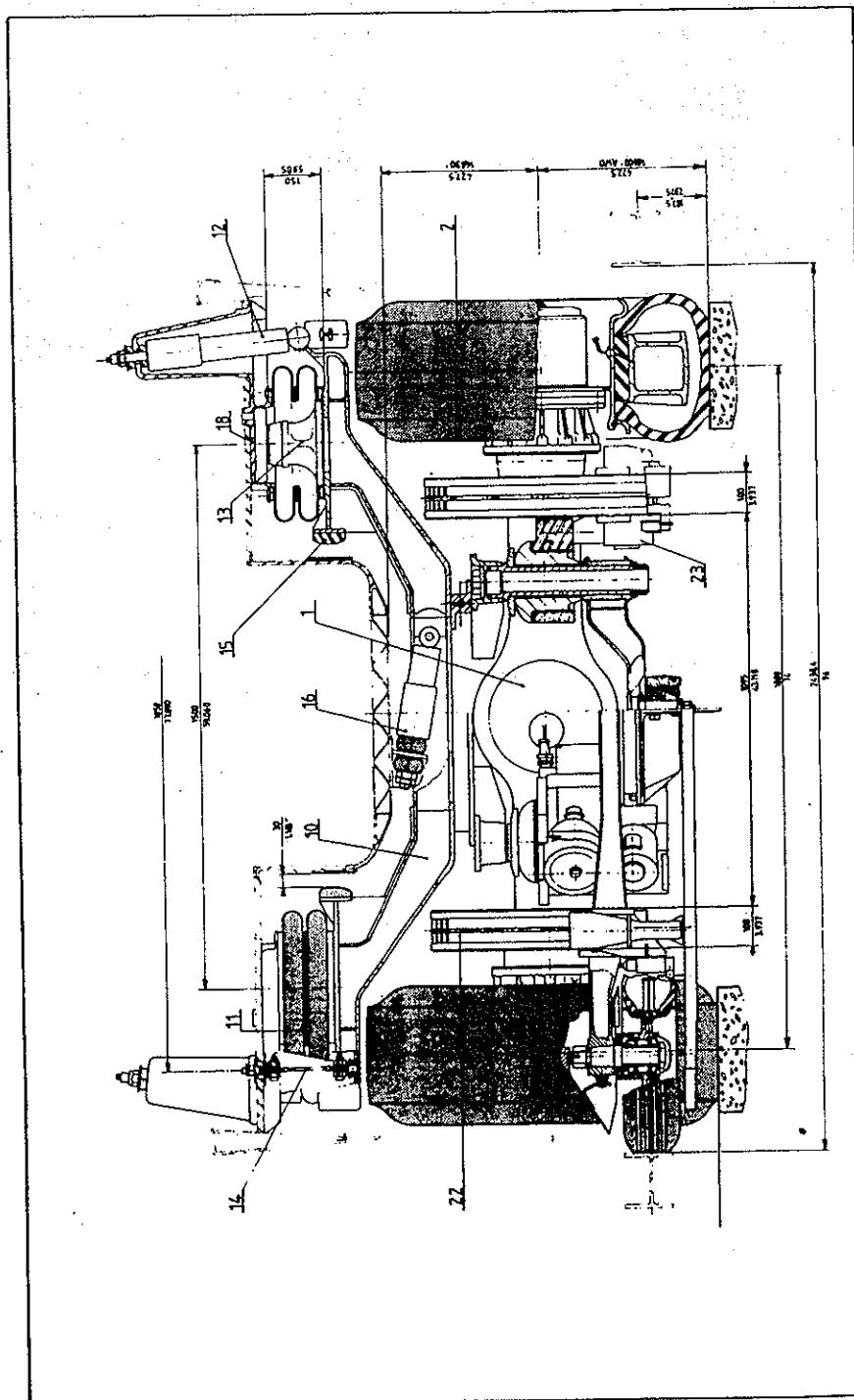
- longueur:	13,80 m
- largeur:	2,56 m
- hauteur:	3,53 m
- hauteur de plancher:	0,98 m
- portes l = 2,13 x h = 1,93:	2 par face.
- capacité	- charge à vide 18,6 tonnes
. en CN	12 places assises 80 places debout

	92 places
. en CM	12 places assises 134 places debout

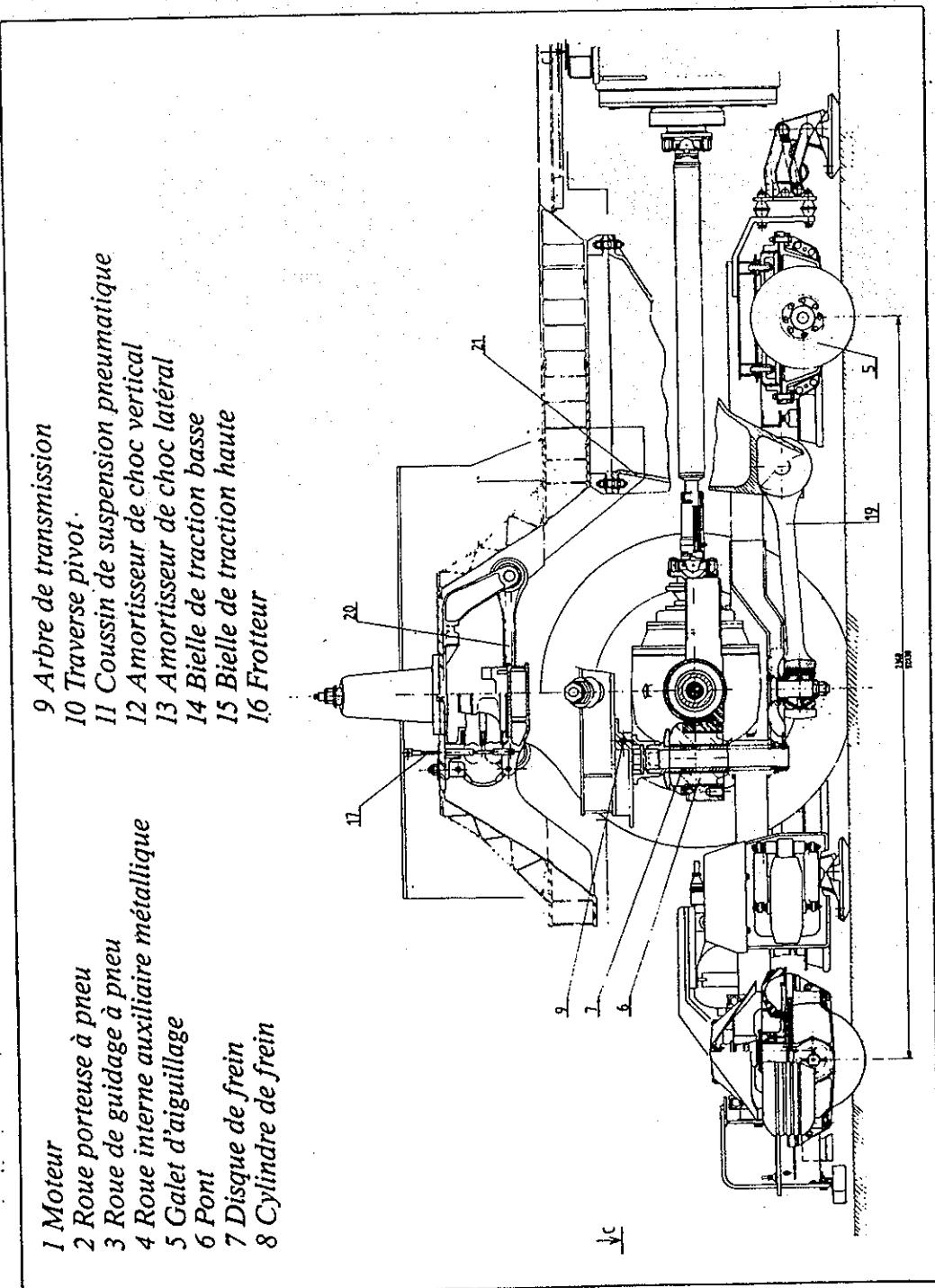
	146 places
. en CE	12 places assises 160 places debout

	182 places

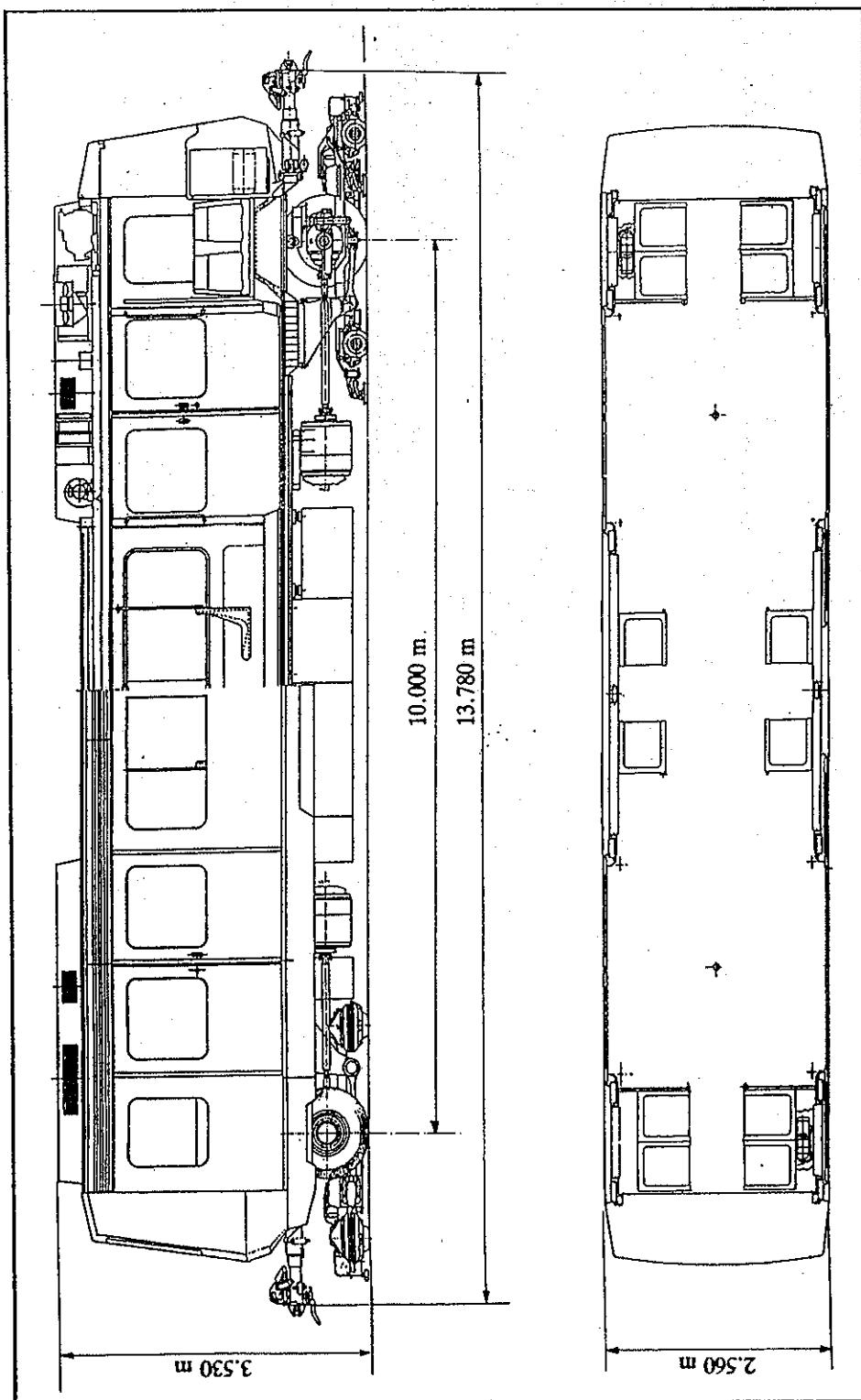
- puissance en service continu	2 x 151 kW
- rampe accessible	7 %
- freinage électrique conjugué avec freinage à friction actionné	par système hydraulique
- performances accélération - décélération maximale	1,3 m / s ²
- vitesse max.	80 km / h
- vitesse commerciale	35 km / h
- air conditionné	
- normes	US standards



**VAL 256: Ensemble Roulement -
Coupes transversale.**



VAL 256: Ensemble roulement -
Coupe longitudinale.



Le diagramme du VAL 256

NOUVEAUX SYSTEMES DE TRANSPORTS COLLECTIFS EN SITE PROPRE EN FRANCE

Maurice Pierron

CETUR Centre d'Etudes des Transports Urbains

Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports
et de la Mer

STP

1-INTRODUCTION

La France a connu jusqu'au delà des années 60 une longue période marquée par l'explosion de la motorisation, l'extension urbaine, et le déclin systématique des transports collectifs urbains (en mettant de coté l'agglomération parisienne où le réseau de métro ne cesse jamais de jouer un rôle important), lui-même ponctué par le démantèlement généralisé des vieux réseaux de tramway.

Prise de conscience des limites du "tout automobile", émergence des problèmes d'environnement et crises pétrolières se conjuguent au début des années 70 pour créer un nouvel état d'esprit, plus favorable au transport collectif; ceci se traduit notamment sur le plan institutionnel et financier par la mise à la disposition des villes d'une ressource spécifique (versement de transport, taxe sur les salaires affectée au financement du transport public).

1-1 Le versement de transport

Il est à la base du développement récent des transports collectifs; institué d'abord dans la région Ile de France en 1971, il est ensuite autorisé dans les agglomérations de plus de 300000 habitants en 1973, puis dans celles de plus de 100000 habitants en 1974; le seuil est abaissé aux villes de plus de 30000 habitants en 1983; les taux applicables (de 0 à 2,2% actuellement) ont varié suivant les dates (dans un sens généralement croissant avec le temps), et sont fonction du lieu (ils sont les plus forts en région Ile de France; supérieurs dans les grandes agglomérations par rapport aux plus petites), et du type de système de transport collectif (supérieurs dans le cas d'un réseau en site propre par rapport à un simple réseau d'autobus).

Cette ressource locale est affectée au financement des dépenses d'investissement et de fonctionnement des transports collectifs urbains. Aujourd'hui, elle permet de dégager près de 6 Milliards de Francs par an en région Ile de France, un peu moins de 5

Milliards pour l'ensemble de la province.

1-2 Les Autorités Organisatrices

La compétence en matière de transport collectif appartient au niveau local à une autorité unique, commune, ou plus souvent groupement de communes d'une agglomération; elle s'exerce sur un "périmètre des transports urbains", territoire sur lequel est perçu le versement de transport (les seuils de cette taxe incitent donc au regroupement communal au sein de l'agglomération). Dans cette zone, c'est l'autorité organisatrice qui définit et met en oeuvre selon les modalités qu'elle choisit, la politique des transports collectifs. Le cas de la région Ile de France est un peu particulier, avec le rôle d'autorité organisatrice confié, dès 1959, au STP (syndicat des transports parisiens, établissement public associant les départements de la région à l'Etat dont la voix est cependant prépondérante).

Si la fonction organisation des transports collectifs reste un monopole public local confié à l'autorité organisatrice, l'exécution des services est déléguée à un ou des opérateurs extérieurs, publics ou privés, liés par contrat à l'autorité organisatrice.

1-3 La situation actuelle

Dans ce cadre institutionnel et financier, les transports collectifs ont fait l'objet d'un nouveau développement: à titre d'exemple, la croissance de la fréquentation des 101 principaux réseaux de province s'est établie à 53 % sur la période allant de 1975 à 1985, tandis que l'offre mesurée en places kilomètres offertes croissait de 75 %.

Ce développement a été basé sur l'amélioration des réseaux d'autobus dans la majorité des agglomérations, mais également, pour les plus importantes d'entre elles, sur la création de lignes en site propre parfois en gestation depuis longtemps: Paris met en place son RER, prolonge son métro, Marseille et Lyon inaugurent les leurs en 77 et 78, Lille expérimente son futur métro automatique, tandis que d'autres villes, invitées en cela par le Secrétariat d'Etat aux Transports de l'époque, réfléchissent, d'abord timidement, à l'implantation d'éventuelles lignes de tramway moderne (l'appellation "métro léger", quoique plus exacte et internationalement reconnue, a du mal à s'imposer en France).

En 83-84, le VAL, métro automatique à gabarit réduit, est mis en service commercial à Lille, agglomération d'un peu moins de 1 million d'habitants. Le nouveau tramway fait son apparition dans des agglomérations de 400 000 à 500 000 habitants, à Nantes d'abord en 85, puis à Grenoble deux ans plus tard. Aujourd'hui tous ces nouveaux réseaux en site propre sont en cours d'extension; un nombre important d'agglomérations, de tailles toujours plus réduites, s'intéresse à ces systèmes et certaines s'engagent dans la voie de la réalisation.

2-LES TECHNOLOGIES EN PRÉSENCE

2-1 Les systèmes routiers

2-1-1 Généralités

Constituant la famille des autobus et trolleybus, les véhicules routiers se caractérisent par leur capacité d'insertion dans le trafic de voitures particulières sans exiger d'infrastructures spécifiques. Cette possibilité en fait le mode de transport collectif urbain dont la mise en oeuvre est généralement la plus simple et la moins coûteuse. C'est donc naturellement le moyen de transport le plus répandu dans les réseaux urbains en France.

Dans ses différentes versions de capacité (et de modes de traction), le véhicule routier est capable de satisfaire aux besoins des petites, moyennes et grandes agglomérations: pour les premières, il est le mode de base des transports collectifs urbains; pour les dernières, il permet la constitution d'un réseau complémentaire à l'éventuel réseau guidé en site propre (métro ou métro léger).

Depuis une dizaine d'années, la famille des autobus s'est beaucoup enrichie avec en particulier la recherche de plus grandes capacités et de modes de traction différenciés. En France cependant, la traction électrique, malgré des avantages indéniables en milieu urbain (absence de nuisances sonores ou atmosphériques, souplesse, puissance, source d'énergie, etc) reste malheureusement chère en investissement (coût de l'alimentation en énergie par lignes aériennes, coût des véhicules) et n'a pas été favorisée par l'évolution récente des prix des produits pétroliers.

2-1-2 Les limites des systèmes routiers

Dans un contexte de croissance continue de la motorisation et de l'usage de la voiture particulière en ville, confirmé par les résultats des dernières "enquêtes ménages" (enquêtes générales sur les déplacements en milieu urbain réalisées périodiquement dans les agglomérations), les réseaux d'autobus souffrent de la concurrence toujours plus vive du transport individuel:

- vitesse et régularité aléatoires du fait des problèmes de congestion du trafic, car les priorités et les protections qui sont accordées aux autobus le sont souvent de manière incomplète ou insatisfaisante, et les sites propres pour autobus, difficiles à insérer en milieu urbain et à maintenir politiquement sur des itinéraires continus, sont rares;

- limites de bon fonctionnement de la technologie routière classique et niveau parfois inacceptable de nuisances imposées au milieu urbain environnant, sur les axes les plus lourds des agglomérations de plus de 200000 habitants;

- image de marque de l'autobus fréquemment médiocre, pour les raisons déjà mentionnées, et malgré les efforts de rénovation mis en oeuvre.

Il en résulte, dans beaucoup de cas, des problèmes de saturation, de productivité, d'attractivité insuffisante et de stagnation de la fréquentation des réseaux. L'utilisation de trolleybus, ou encore de véhicules routiers de plus grande capacité (Mégabus), peut constituer un début de solution dans la mesure où des priorités et protections efficientes leur sont accordées; c'est la direction prise par les agglomérations de Nancy et de Montpellier par exemple (toutes deux d'environ 3000000 habitants), avec dans le premier cas la mise en service en 82 de trois lignes de trolleybus articulés bimodes accompagnée d'un ensemble complet d'aménagements et de priorités pour les transports collectifs, et dans le second cas la création récente d'un site propre continu pour autobus, de plus de 3 km de longueur en première phase; cependant ces deux villes envisagent à terme le recours à des systèmes plus lourds.

2-2 Les systèmes guidés

2-2-1 Généralités

Dès que la fréquentation avoisine ou dépasse 2000 voyageurs/heure/sens sur le tronçon le plus chargé d'un tronc commun de lignes, la question du passage à une technologie différente mérite d'être posée.

On a vu, pendant les deux dernières décennies, un foisonnement d'idées pour des technologies dites "nouvelles", dont bien peu ont franchi le cap de la réalisation commerciale en vrai grandeur: le système ARAMIS par exemple, système automatique de transport point à point sans rupture de charge répondant au concept de "PRT" (Personal Rapid Transit), a fait l'objet de recherches importantes et les expérimentations ont permis de valider les choix techniques et de vérifier la faisabilité d'un système prometteur; cependant, ses coûts sont aujourd'hui encore trop élevés pour que des applications concrètes soient réalistes à court terme.

Parmi les nouveautés arrivées à maturité, il convient de signaler les systèmes de transport dits "hectométriques", facilitant les déplacements des personnes sur des distances courtes ou moyennes (de l'ordre de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres). C'est un domaine où la technologie de la traction par cable trouve un champ d'application intéressant:

- le SK, système semi-continu à petites cabines, qui fonctionne actuellement au parc des expositions de Villepinte à proximité de Paris, et doit faire l'objet de nouvelles applications en France et à l'étranger, en desserte de sites particuliers ou en prolongement de lignes traditionnelles de métro,

- le POMA 2000, système discontinu adapté à des distances plus longues, mis en service commercial à Laon au début de 89.

Cependant, pour les applications traditionnelles, les systèmes classiques mais modernisés, de type tramway (ou métro léger), ou de type métro, avec pour ce dernier l'adoption de l'automatisation intégrale, constituent la base du développement des transports collectifs dans les villes françaises non

millionnaires.

2-2-2 Les atouts des systèmes guidés

Les systèmes en site propre, tramway, VAL (métro automatique à gabarit réduit) ou métro, ont des performances en terme de qualité de service (vitesse, régularité, fiabilité...), de capacité, de productivité (coût d'exploitation à la place kilomètre offerte), variables suivant le type de système, mais qui se détachent nettement de celles d'un système routier classique (à condition néanmoins que le trafic soit suffisant). D'autre part s'ajoute aux qualités objectives précédentes une image de marque de qualité qui donne une attractivité supérieure au réseau de transports collectifs, et modifie même l'image de la ville (cet argument pèse d'un poids important pour les villes françaises où les transports collectifs entrent en compétition avec une voiture particulière omniprésente). Enfin, l'effet sur la structure et l'environnement urbain, qui correspond généralement à un objectif recherché, est, pour un système lourd, toujours sensible même s'il est souvent lent et difficile à mesurer; il ne faut pas perdre de vue que le système de transport n'est pas un but en soi et une simple solution technique à un "problème de tuyau", mais un mode de déplacement qui fait partie de la cité, et contribue à la vie de la ville et au développement de ses activités.

2-2-3 Le tramway moderne

Le tramway moderne (ou métro léger) intègre un ensemble d'équipements qui font appel aux derniers perfectionnements des techniques ferroviaires (grande capacité, articulation, bogies monomoteurs, alimentation par hacheurs de courants, récupération d'énergie, automatismes, régulation, etc) associé à une infrastructure particulière (le site propre); la conjugaison de tous ces éléments fait de ce système un moyen de transport moderne qui n'a plus grand chose à voir avec son ancêtre. Le développement pour Grenoble d'un matériel à plancher bas, accessible à niveau depuis un simple trottoir, constitue une nouveauté très appréciée.

2-2-4 Le VAL

Pour le VAL, c'est aussi la réunion de sous-ensembles, déjà utilisés dans des métros plus conventionnels, et l'utilisation des automatismes classiques poussée jusqu'à son aboutissement (s'affranchir totalement de personnel à bord des rames), qui en font un système entièrement novateur.

Après une démonstration en vraie grandeur de 6 années à Lille, l'automatisme intégral a aujourd'hui fait ses preuves:

- c'est un système adapté à la desserte à effectuer, fonctionnant avec des rames de petite capacité qui peuvent se succéder à intervalles rapprochés (en exploitation, le coût marginal d'introduction d'une rame supplémentaire est faible, du fait de l'absence de conducteur);
- il offre une excellente sécurité et qualité de service pour l'usager (vitesse commerciale élevée, bonnes fréquences en heures

de pointe et en heures creuses; portes palières en station); les enquêtes effectuées à Lille ont montré que le système était très bien perçu par les voyageurs dont les craintes vis à vis de l'absence de personnel permanent à bord des rames se sont rapidement dissipées;

- il permet une grande souplesse d'exploitation (adaptation facile en temps réel à une demande imprévue; intervalles courts sur de longues périodes; également envisageables, des rames scindables en fonction de la demande, lignes en fourche...);

- il fournit ces prestations à des coûts de fonctionnement raisonnables: le coût d'exploitation d'un système comme le VAL est compétitif par rapport à un métro traditionnel, tout en offrant une qualité de service supérieure (donc une meilleure attractivité) et une plus grande souplesse d'exploitation; il permet en particulier l'introduction dans le club des villes à métro, jusque là essentiellement réservé aux métropoles millionnaires, d'agglomérations nettement moins importantes.

Au vu de ces résultats, l'automatisation poussée apparaît aujourd'hui comme une hypothèse incontournable pour une nouvelle ligne de métro, et même pour l'évolution d'un réseau traditionnel (l'automatisme intégral a été adopté pour la ligne D du métro de Lyon -système MAGGALY-, et la RATP envisage son expérimentation sur une de ses lignes -système AIMT-).

2-2-5 Site propre au sol ou site propre intégral

C'est bien sur ce point que se différencient essentiellement les systèmes: un métro, a fortiori automatique comme le VAL, nécessite le site propre intégral et doit donc être séparé de toute autre circulation (en milieu urbain, cela signifie la plupart du temps un passage dénivelé, en viaduc ou, plus souvent, en souterrain, type d'insertion généralement très appréciée car sans effet majeur sur l'environnement de la ville); le tramway (ou métro léger selon l'appellation de l'UITP) en revanche, peut être implanté majoritairement au sol, car il est compatible avec des carrefours à niveau et c'est dans ce cadre qu'il trouve sa principale justification.

Ces types d'insertion se traduisent bien sur par des coûts d'investissement nettement différenciés. Ramené au kilomètre de ligne double sens (tout compris, infrastructure, équipements, matériel roulant, ingénierie...), l'investissement peut en effet varier de 90 MF (Hors Taxes 88) environ pour un tramway au sol en insertion aisée, à 350 MF (Hors Taxes 88) ou plus pour un métro souterrain dans un site difficile.

2-3 Quelques caractéristiques comparées

La réponse à la question du choix d'un système n'est jamais simple et il n'existe pas de méthode universelle qui la donne de manière automatique, notamment lorsqu'il s'agit de décider une opération lourde.

Dans beaucoup de cas, les systèmes ne sont pas concurrents mais complémentaires: les transports à courtes et moyennes distances ont un domaine d'application spécifique; plusieurs modes de

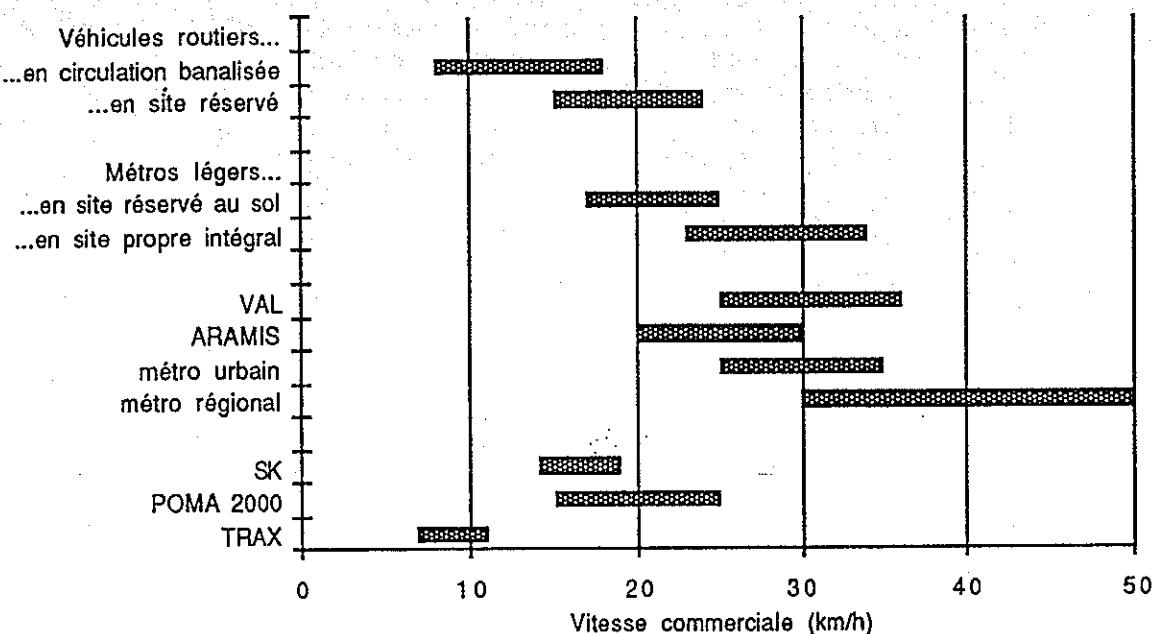
transports collectifs (métro, tramway, autobus, trolleybus) peuvent cohabiter dans une même agglomération (le réseau routier y joue un rôle de rabattement et de complément au réseau de transports guidés).

Pour chaque situation, la décision d'implantation d'un nouveau système ne peut reposer que sur des études détaillées qui font ressortir un ensemble complet de critères d'appréciation, précisément adaptées au contexte urbain en question, intégrant la restructuration de l'ensemble du réseau de transports collectifs rendue nécessaire par l'introduction d'une nouvelle technologie, et comparant éventuellement deux ou plusieurs modes de transports collectifs sur un même application, elles permettent de bien appréhender toutes les conséquences socio-économiques (au sens le plus large du terme) du choix: desserte de l'agglomération, flux de trafic, qualité du service offert et attractivité, coûts d'investissement, coûts d'exploitation, bilan d'exploitation, insertion urbaine, effets sur l'environnement, sur l'urbanisme, progressivité et adaptabilité, énergie, etc.

2-3-1 Vitesse commerciale courante

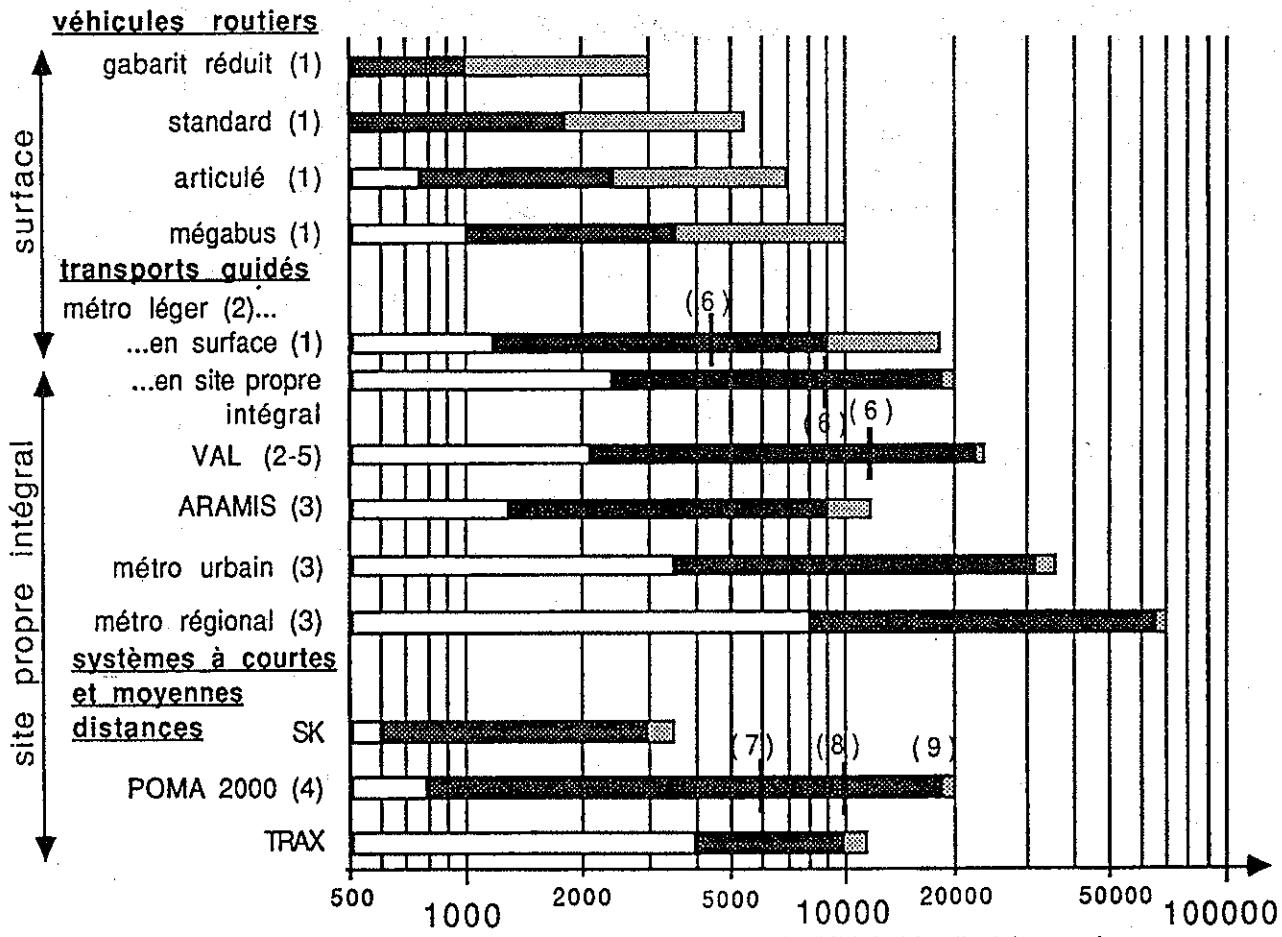
Ces vitesses commerciales (calculées hors temps de battement aux terminus, mais incluant les temps d'arrêt en station) correspondent aux valeurs habituellement observées pour des services omnibus (des services express suburbains présenteraient des valeurs supérieures). Elles peuvent varier, notamment:

- avec la longueur d'interstation
- avec le tracé
- avec la nature et le degré de protection du site pour un système en surface.



2-3-2 Plages de débit habituelles

A titre de repère, le schéma suivant rassemble les caractéristiques de débit des différents systèmes dans des applications habituelles:



(1) peut être fonction du degré de protection du site
 (2) 1 ou 2 éléments

(3) fonction du nombre de voitures par rame

(4) suivant les versions

(5) type Lille

(6) avec 1 élément

(7) version sans câbles auxiliaires

(8) version avec câbles auxiliaires

(9) version navette

(échelle logarithmique)

2-3-3 Elements de coûts

Quant au tableau qui suit, il est relatif aux coûts d'investissement et d'exploitation, et présente des ordres de grandeur, à prendre avec précautions, tirés de réalisations concrètes ou de projets détaillés.

	INVESTISSEMENT			EXPLOITATION	
	MATÉRIEL ROULANT (élément de base)		INFRASTRUCTURE coût de l'infrastructure au km de ligne double sens hors matériel roulant (MF 87 HT)		
	capacité maxi (nombre de places) (6)	durée de vie (années)		coût (MF 87 HT)	coût d'exploitation hors amortissements à la place x km offerte (F 87 HT) (6) (7)
autobus	garabit réduit	60	10 à 15	0,7	0,21 à 0,27
	standard	100	10 à 15	0,8 à 0,9	0,16 à 0,22
	articulé	150	10 à 15	1,5	0,12 à 0,17
	mégabus	200	10 à 15	2,3	0,10 à 0,14
trolleybus	standard	100	15 à 20	2	0,16 à 0,22
	articulé bimode	150	15 à 20	3,3	0,12 à 0,17
	métro léger	290	25 à 35	9 à 12	40 à 80 au sol; jusqu'à 150 (3) 0,08 à 0,14
VAL					
		260	25 à 35	10 à 13	170 à 230 (4) 0,09 à 0,14
métro urbain		200 (1)	30 à 40	5 à 8 (1)	200 à 300 (4) 0,07 à 0,13
	métro régional	1400 (2)	30 à 40	32 (2)	100 à 800 (5) 0,06 à 0,09

(1) élément = 1 voiture

(2) élément = 4 voitures

(3) pour un tracé qui serait à 50 % en souterrain, 50 % au sol

(4) valeurs moyennes pour un tracé comportant entre 50 et 100 % de souterrain

(5) pour un tracé au sol (valeur basse) ou totalement souterrain (valeur haute)

(6) capacité calculée avec 8 personnes debout au m²

(7) conduite, entretien (matériel roulant, installations fixes), exploitation, frais généraux

Toutes ces caractéristiques, et notamment les données de débit, et bien sur les éléments de coûts, sont valables pour les cas d'application en France: flux de trafic à écouler relativement faibles en regard de ce que l'on peut constater dans d'autres situations, normes de confort élevées avec une proportion importante de places assises, etc; il va sans dire qu'il faudrait les adapter dans le cas d'un contexte nettement différent: par exemple, pour le métro léger, utilisation d'un gabarit plus large, de trains de plus de 2 éléments, proportion moins grande de places assises, etc...

3-INTEGRATION ET IMPACTS URBAINS

3-1 Les études d'impact

Même si les transports collectifs ont un rapport flux transporté sur nuisances induites et espace consommé nettement plus favorable que celui de la voiture particulière, l'intégration d'une infrastructure lourde de transport collectif en milieu urbain constitue toujours une difficulté, car nous nous trouvons face à un occupant nouveau dans la ville, un objet supplémentaire (même s'il se substitue partiellement à d'autres - généralement les bus -) dans un espace urbain toujours rare, et qui a déjà trouvé, peu ou prou, son équilibre.

"L'étude d'impact" a pour objectif de bien cerner et mesurer les conséquences de l'implantation du nouveau mode de transport dans la ville:

- démythifier certaines craintes qui ne sont pas fondées ;
- limiter les effets négatifs lorsqu'ils existent malgré tout ;
- au contraire, souligner les opportunités que peut susciter la mise en place d'un nouvel objet dans la ville, pour le développement et l'aménagement urbain.

Rendue obligatoire dans la législation française pour toute opération d'une certaine importance, l'étude d'impact comporte généralement une description de l'état existant (site, déplacements, urbanisme, environnement), une présentation globale du projet, de sa justification et de son fonctionnement, et une analyse de ses effets prévisibles (déplacements, urbanisme, environnement, impact financier); si nécessaire, elle propose des mesures destinées à supprimer, réduire ou compenser les conséquences néfastes du projet.

3-2 Effets et valorisation urbaine

Chacun s'accorde aujourd'hui pour reconnaître qu'il est difficile de parler de façon trop systématique d'effets structurants des infrastructures de transport, mais qu'il convient plutôt d'utiliser le mot de congruence transport-urbanisme, l'effet du système de transport se bornant le plus souvent à une confortation de tendances que l'on peut déjà observer par ailleurs. Ces effets seront d'autant plus

marqués que le milieu urbain traversé sera facilement mutable et que l'infrastructure sera lourde (l'effet métro est plus fort que l'effet site propre autobus par exemple).

Dans le cas de Nantes, on a pu constater une stabilité plus grande de la population résidentielle dans la bande de 500 m de part et d'autre du tram, par rapport au reste de l'agglomération; par ailleurs, l'argument de vente "proximité du tramway" est aujourd'hui mis en avant par les promoteurs immobiliers, jusqu'ici peu soucieux de la desserte en transport collectif. A Lille, la mise en service du VAL a été l'occasion d'importantes opérations de mise en valeur urbaine, notamment dans le centre-ville; on a pu constater d'autre part le déclin commercial d'un secteur intermédiaire traversé par le métro, secteur qui était déjà en perte de vitesse avant la mise en service du VAL.

Au-delà des caractéristiques technico-économiques respectives de ces familles de systèmes (au sol ou en site propre intégral), chacune a sans doute également une nature d'utilisation qui lui est propre: parcours plutôt "longs et prévus" pour un système en site propre intégral, rapide et dont les stations sont dénivélées et espacées, trajets peut-être plus "courts et spontanés" dans le cas du tramway au sol, très facile d'accès (les parcours moyens observés sont de 4,5 km sur le VAL à Lille, de 3,4 km sur le tramway de Nantes). Ces types d'usages devraient également entraîner des effets différenciés sur le devenir urbain, qu'il est cependant difficile aujourd'hui de préciser.

En résumé, les réalisations de Nantes, mais également de Lille, et surtout de Grenoble ont été l'occasion d'un réaménagement des espaces urbains de qualité, mettant en valeur les quartiers traversés, et d'une dynamisation de l'activité des zones centrales.

3-3 Problèmes de nuisances et de sécurité

Dans le cas du VAL, les nuisances se limitent aux sections aériennes: le roulement sur pneu et les rambardes sur viaduc faisant écran phonique les limitent à un niveau très faible (inférieur à 72 dBA au niveau du plan de roulement); quand à la sécurité, elle est particulièrement remarquable puisque les solutions retenues, et notamment les portes palières en station, ont empêché tout accident grave jusqu'à ce jour (6 ans de fonctionnement commercial).

Les principes du tramway pourraient faire craindre a priori des problèmes de nuisances (bruit, vibrations); les dispositions adoptées sur le matériel (roues élastiques) et sur l'infrastructure (pose de voie avec un niveau plus ou moins important d'élasticité) permettent de réduire ces nuisances dans des proportions notables, variables en fonction du type de pose de voie. A Nantes, les études de suivi ont montré que les niveaux de bruit du tram se trouvent pratiquement toujours masqués par les bruits routiers pour les implantations en voirie.

Du point de vue sécurité, le tramway est soumis aux même dangers que tous les transports de surface; le traitement de

l'infrastructure et les consignes d'exploitation doivent intégrer cette préoccupation. Il est encore un peu tôt pour faire aujourd'hui un véritable bilan sécurité, à partir de l'expérience de Nantes par exemple, mais les études et résultats font déjà ressortir un effet d'apprentissage des usagers de la voirie (les accidents sont plus rares aujourd'hui qu'à la mise en service) et un nombre d'accidents plus faibles pour le tramway que pour l'autobus (respectivement une collision pour 25000 km parcourus en tram, une pour 18000 km parcourus en bus), bien que la gravité de ces accidents soit plus grande dans le cas du tram.

4-FINANCEMENT ET MONTAGE INSTITUTIONNEL

4-1 Financement

4-1-1 Investir pour moins dépenser en exploitation

Dans un contexte de volonté d'accroissement de la fréquentation des transports publics, c'est là une des justifications majeures des systèmes en site propre (même si ses impacts positifs ne peuvent se restreindre à la simple amélioration financière du bilan d'exploitation, car il faut tenir compte d'éléments moins directement comptables, tels que les gains de temps, l'augmentation de mobilité, l'accessibilité aux zones engorgées sans accroissement des déplacements en voiture particulière, les effets sur l'urbanisme, l'énergie, etc). La conjugaison d'un coût d'exploitation inférieur à la place kilomètre, et d'une fréquentation plus grande du fait de la meilleure attractivité du site propre permet en effet d'améliorer le bilan d'exploitation dans des proportions notables: à Nantes par exemple, l'économie observée sur le bilan d'exploitation annuel de l'ensemble du réseau (bus+tram) a été évaluée à plus de 17 MF (88) grâce au tramway, et toutes choses égales par ailleurs (ce qui représente une durée de retour de l'investissement un peu supérieure à 30 ans). Dans cette même ville, le coût d'exploitation du tramway à la place kilomètre, hors amortissements, s'avère inférieur d'environ 1/3 à celui des autobus; à Lille, on peut observer un rapport équivalent entre les mêmes ratios pour le VAL et l'autobus.

4-1-2 Subventions et financements locaux

Les mécanismes de financement institués par les lois françaises récentes rendent les investissements de sites propres envisageables pour nombre d'agglomérations: l'infrastructure (hors matériel roulant) peut être subventionnée jusqu'à hauteur de 30 % par l'Etat, et surtout, le taux du versement de transport, limité à 1 % dans une ville dont le réseau est simplement routier, peut être porté à 1,75 % dès que l'agglomération décide la réalisation d'un site propre; des sommes importantes peuvent être ainsi dégagées au niveau local (surplus annuel d'environ 50 à 100 MF pour une agglomération de 500000 habitants) et autoriser, souvent sans recours à la fiscalité locale directe, la réalisation de projets ambitieux.

4-2 Montage

Le recours à la concession où la collectivité se décharge complètement sur un opérateur privé (qui se trouve chargé de réaliser à lui seul l'investissement et est remboursé sur recettes pendant la durée de la concession) a été le moyen grâce auquel les premiers tramways ont été construits en France à la fin du siècle dernier. Son utilisation pour la desserte d'Orly (Orlyval) marque son retour, mais il est probable que les conditions nécessaires à son application la limitent à un nombre restreint de cas bien particuliers (les tarifs qui devraient être répercutés sur les usagers seraient sans commune mesure avec ceux habituellement pratiqués dans les transports urbains).

On voit apparaître aujourd'hui l'individualisation budgétaire des projets avec la formule de "financement de projet" où le remboursement des emprunts, obtenus sur le marché financier, est assis sur les recettes prévisibles, et le recours à des solutions de maîtrise d'ouvrage déléguée: ce type de solution est envisagée à Toulouse pour le VAL, à Grenoble également pour la seconde ligne de tramway, à Reims enfin où la ligne de tramway serait proposée sous une forme "clé en main" par un groupement d'entreprises chargée de sa construction et de son exploitation. Ces formules permettent à la collectivité publique de s'affranchir d'une partie du risque financier, lié notamment à la construction de l'infrastructure.

5-REALISATIONS ET PROJETS

- Le tramway de Nantes fonctionne depuis plus de 4 ans; nous avons vu précédemment son impact positif sur le bilan d'exploitation du réseau; cet impact financier est largement lié à l'augmentation de près de 30 % de la fréquentation en voyages de l'ensemble du réseau (autobus et tramway, à offre pratiquement constante en véhicules kilomètres); aux 10,6 km de ligne originels, s'est rajoutée dernièrement une extension de 1,7 km, et une seconde ligne est en projet.

A Grenoble, on a délibérément choisi un tracé très hypercentral, malgré les problèmes d'insertion que cela impliquait. La qualité de la réalisation, à laquelle s'ajoute le modernisme d'un matériel roulant offrant l'accessibilité totale à tous les usagers, font déjà de l'opération tramway un succès apprécié par les Grenoblois (le tramway est utilisé quotidiennement par plus de 50000 usagers) et reconnu par tous (la faisabilité d'une ligne de tramway moderne au sol en milieu urbain dense est ainsi prouvée); une seconde ligne est en cours de réalisation.

Ce sont sans doute tous ces arguments qu'ont retenu les opérateurs du projet Bobigny - Saint Denis, itinéraire de rocade en banlieue parisienne en cours de réalisation, et des agglomérations comme Reims, Brest (toutes deux d'environ 200000 habitants), ou Rouen (400000 habitants, avec dans ce dernier cas un court tronçon souterrain hypercentral) qui s'orientent vers le choix tramway; Strasbourg (400000 habitants) qui prévoyait

l'implantation d'un VAL, s'oriente aujourd'hui vers une solution tramway après le récent changement de municipalité; dans d'autres villes encore, des études sont en cours.

• Malgré les investissements importants qu'elle entraîne, la solution **VAL** a été préférée par plusieurs villes françaises: Toulouse (550000 habitants) s'est engagée, Bordeaux (600000 habitants) en a décidé le principe (il faudrait parler également de la desserte de l'aéroport de Paris-Orly, en cours de réalisation).

La réalisation et les résultats de l'opération de Lille sont en effet très séduisants: plus de 110000 usagers quotidiens sur la première ligne de 13 km de long; une seconde ligne est en service depuis le printemps 89. Le système a déjà obtenu plusieurs succès à l'exportation sur le continent Nord-Américain et en Asie. La sécurité et la qualité de service offerte par le VAL en terme de fréquence, de rapidité, de disponibilité, est incontestablement très bonne, et l'image du système excellente. En outre, l'insertion d'un site propre de surface, toujours délicate même dans le cas d'un système sur rail (techniquement, et plus encore politiquement), est évitée (avec d'autant plus d'enthousiasme que le creusement du souterrain pourra se faire en utilisant largement les techniques de forage au tunnelier qui rendent la période de travaux presqu'indolore pour la ville).

• Dans la compétition qui oppose en France partisans du tram et partisans du VAL, on constate un léger avantage à ce dernier pour les agglomérations de 400000 à 600000 habitants; le tramway quant à lui semble séduire des villes plutôt moins importantes. Certaines, comme Rennes, s'interrogent encore sur le meilleur choix à faire. Dans tous les cas, les critères d'appréciation sont nombreux et dépassent souvent le simple cadre d'une étroite rationalité technico-économique.

SOLUTIONS TRAMWAY (METRO LEGER)

agglomération population (million hab.)	NANTES		GRENOBLE		PARIS St Denis-Bob. 10	REIMS	ROUEN	BREST	RENNES	
	0,45		0,40			0,21	0,40	0,21	0,30	
ligne	1	2	1	2						
date de mise en service	85	91	87	90	92	93	95	93	94	
longueur (km) (dt souterrain)	10,6	6,2	8,9	5,8	9,1	7,4	10,4 1,9	11,5	8,4 1,4	
stations (nb)	22	15	22	13	21	19	21	25	20	
rames (nb)	20	10	20	13	18	15	22	21	20	
vitesse commerciale (km/h)	21	19	18	17,5	19	20	22	20	21	
fréquentation (milliers d' usagers/jour)	50	50	55	30	55	35	62	68	55	
investis. (dt mat. rlt) (MF88 HT)	650 230	300 110	1300 250	630 170	800 200	750 190	1700 290	770 175	1300 220	
remarques	en 89: 8 rames sup., extension de 1,7 km		tronc commun de 1,1 km avec ligne 1		itinéraire de rocade en banlieue parisienne		2 lignes; matériel non encore défini		en compétition avec solution VAL	

NB: Les données du projet de tramway de Strasbourg ne sont pas encore disponibles.

SOLUTIONS VAL

agglomération population (million hab.)	LILLE		TOULOUSE	PARIS-Orly	STRASBOURG	BORDEAUX	RENNES
ligne	1	1 bis					
date de mise en service	83	89	93	91	94	94	95
longueur (km) (dt souterrain)	13,3 8,9	12,1 9	9,7 6,9	7,2 2,7	10,1 8,8	11,5 5	8,6 5,2
stations (nb)	18	18	15	3	13	17	13
rames (nb)	38	29	29	8	19	25	15
vitesse commerciale (km/h)	35	33	33	50	35	33	34
fréquentation (milliers d' usagers/jour)	120	65	125	14	100	120	75
investis. (dt mat. rlt) (MF88 HT)	3900 460	3400 340	2900 320	1300 100	2600 250	3600 300	1700 165
remarques	16 rames sup. en 88			desserte d'aéroport; concession aux risques et périls	récemment abandonné pour solution tramway		en compétition avec solution tramway

NB: pour mémoire,

PARIS: 200 km de métro, 3500 voitures; 103 km de RER

LYON: 14,1 km de métro, 96 voitures

MARSEILLE: 18 km de métro, 144 voitures

6-CONCLUSION

Dans le cadre de la concurrence de plus en plus vive que se font déjà les métropoles régionales françaises envisageant la perspective du grand marché européen de 1993, la qualité des services urbains, et notamment de ceux destinés à faciliter les déplacements des citadins, constitue un enjeu majeur. Nombre de villes en ont aujourd'hui bien conscience, et le mouvement général en faveur des systèmes tramway ou VAL qui semble aujourd'hui s'accélérer en France en constitue sans aucun doute une illustration.

Les réalisations de Lille, Nantes ou Grenoble, peuvent être déjà considérées comme des succès techniques, économiques et urbanistiques; elles constituent autant d'exemples motivants pour les villes qui se posent la question de l'implantation d'un système de transport urbain plus performant.

Parmi les éléments qui concourent à cette réussite, il convient de citer la qualité technique des systèmes fournis par les grands constructeurs nationaux (notamment: ALSTHOM pour les matériels roulants tramway et VAL; MATRA en tant qu'ensemblier du VAL); à une époque où les ressources disponibles pour le transport public sont partout comptées, ce savoir-faire devrait se trouver conforté à des conditions économiques encore plus compétitives, par le développement du marché français et du marché extérieur. Enfin, le soin apporté à l'insertion urbaine -au sens le plus large du terme- de ces nouveaux équipements, a montré que des transports collectifs en site propre de qualité pouvaient participer largement à l'amélioration de l'image de la ville et apporter leur contribution à un développement urbain plus harmonieux.

REFERENCES

- "Matériels français de transports collectifs urbains" CETUR-Mai 88
- H.Chaine "Choix technologiques à Lyon, Grenoble, Nantes et Strasbourg" colloque ENPC -Paris-Mai 88
- M.Pierron "Tram, Val, métro...tendances françaises" Le Rail-Juin 88
- Actes du colloque "Quel transport en site propre dans les villes moyennes après 1992?" Brest- Octobre 88
- J.C.Hugonnard "Réalisations récentes en matière de métros légers et systèmes automatiques; des leçons pour l'avenir?" colloque CEIFICI -Paris-Janvier 89