



Figure 1: VAL: Métro sans conducteur de LILLE en exploitation depuis 1983.

# UN METRO SANS CONDUCTEUR: LE VAL

## RESULTATS ET PERSPECTIVES D'AVENIR

B. Royaux, Chef des Projets VAL à la Division Transports Ferroviaires

### Introduction:

En mai 1983 le Métro de Lille recevait ses premiers voyageurs payants. Depuis, en cinq ans de service ininterrompu, et à raison de 100 000 voyageurs par jours en moyenne, ce sont près de 180 millions d'usagers qui ont emprunté ce système de transport dans

les meilleures conditions de sécurité, de ponctualité et de confort. Ceci n'aurait rien d'extraordinaire si ce Métro, le VAL, n'était pratiquement le premier système de transport de masse sans conducteur au Monde. En effet, et depuis le premier jour, aucun conducteur n'a jamais conduit ou même systématiquement accompagné les véhicules. Il est remarquable que cette première, très attendue des milieux spécialisés, se soit déroulée sans la moindre appréhen-

## UN METRO SANS CONDUCTEUR: LE VAL

sion des usagers qui, dès les premiers jours, ont assuré un franc succès à leur nouveau métro. Mais revenons en arrière de quelques dix ans.

### Un peu d'histoire:

Dans le début des années 1970, la communauté urbaine de Lille met au point son nouveau schéma directeur d'urbanisme. A l'Est une ville nouvelle se structure autour d'un complexe universitaire. Comment donner les moyens aux étudiants de gagner facilement leur lieu de travail. L'idée est lancée d'une navette rapide entre l'université et la gare. La gare SNCF de Lille est un point de convergence des différents systèmes de transport Lillois (Trains, autobus, tramway). A cette époque, suite en particulier au premier choc pétrolier et à une confiance qui se révélera un peu optimiste dans les progrès de la technologie, de nombreuses idées de systèmes de transport révolutionnaires voient le jour. Les circonstances sont donc favorables. Un concours est ouvert, le nouveau système devra être:

- ☐ A petit gabarit (pour limiter les coûts de génie civil),
- ☐ A fréquence élevée,
- ☐ Sans conducteur.

La Société MATRA gagne le concours, associée pour la construction des véhicules à deux filiales de la CEM (Compagnie Electro-Mécanique), CIMT et TCO. Le Val est né.

VAL signifie, tout au moins au début, Villeneuve d'Ascq-Lille du nom des deux terminus initiaux.

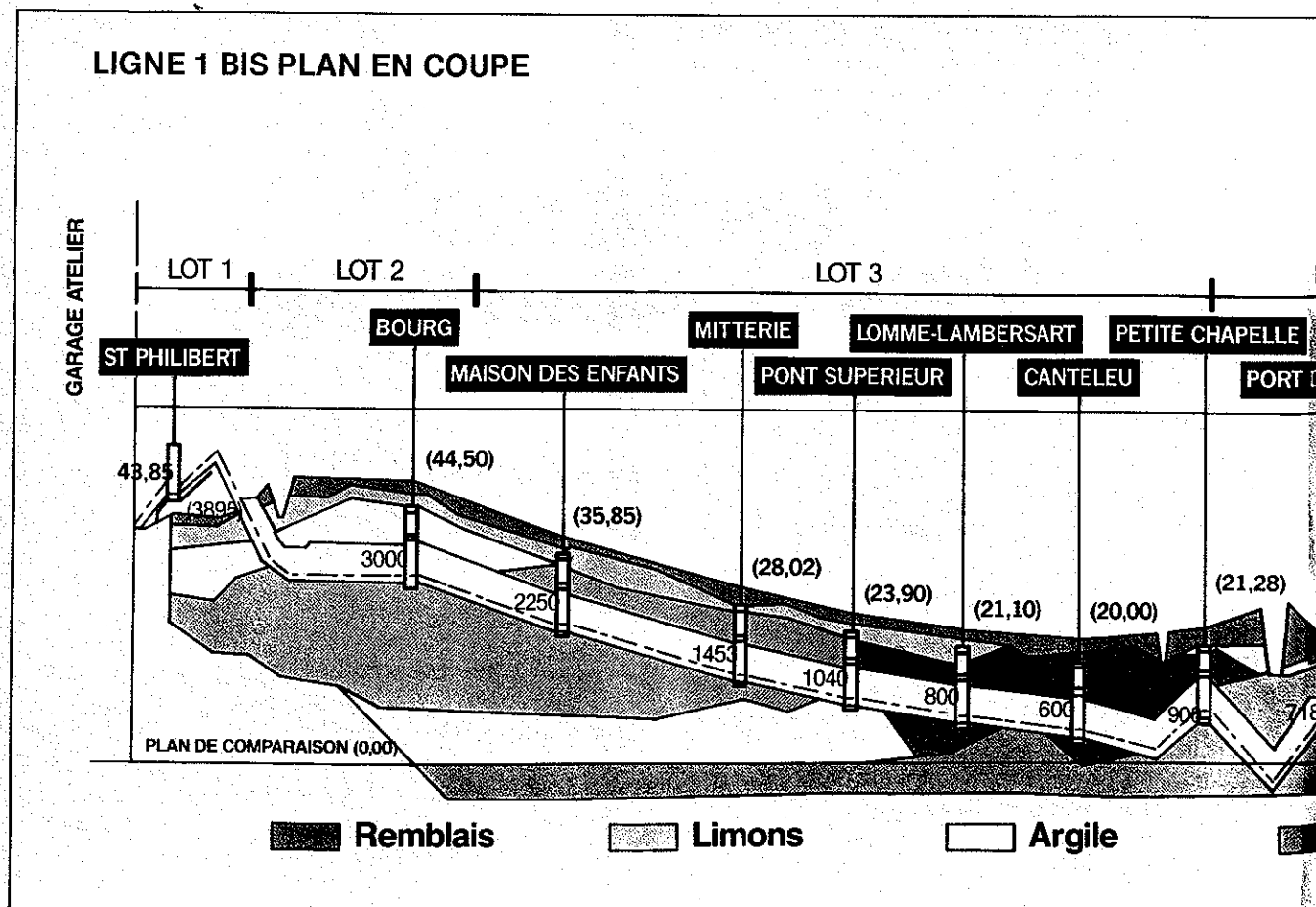
D'autres traduiront: Véhicule Automatique Léger. Ceci n'a guère d'importance VAL il est. VAL il restera.

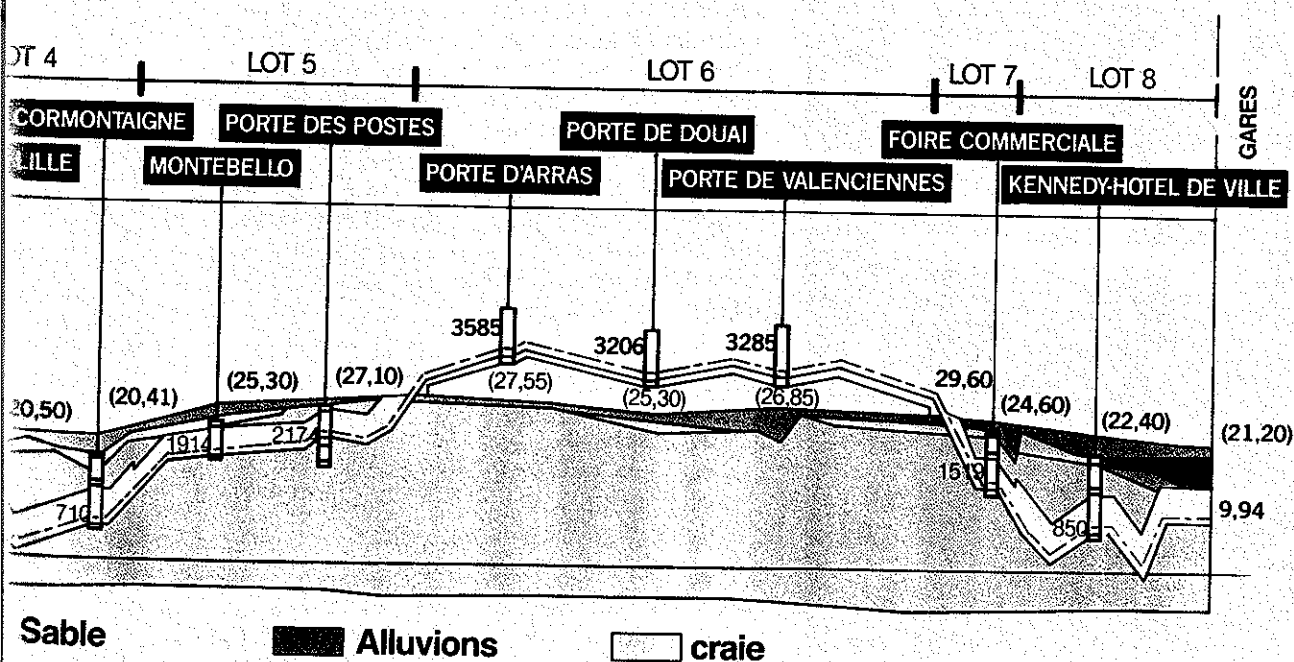
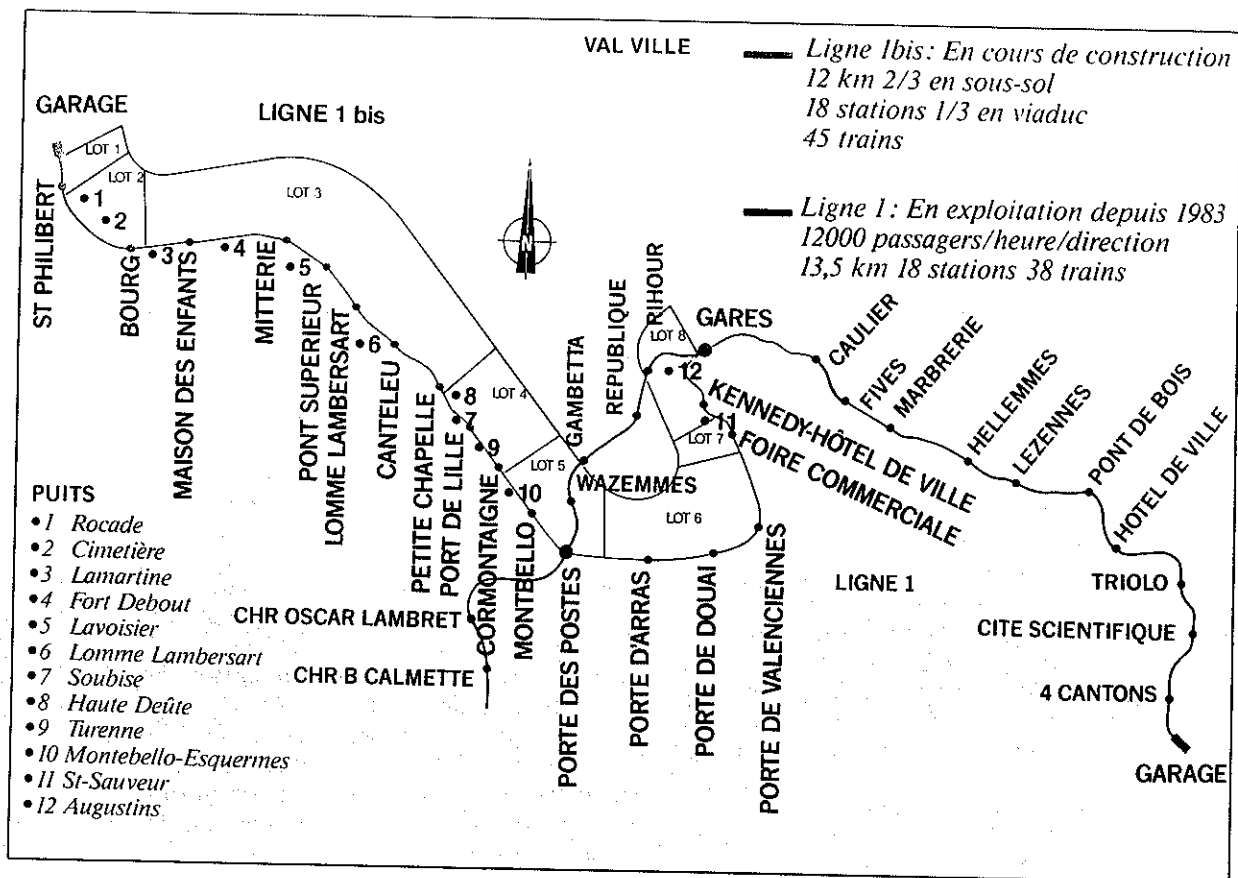
Les études avancent, deux prototypes et un centre d'essais sont construits. Au fur et à mesure l'idée de navette cède le pas à celle d'une véritable ligne de Métro. Ce sera la ligne n° 1 du futur réseau de Métro de Lille. En avril 1977 le contrat définitif est signé. Six ans plus tard le premier voyageur payant empruntera le premier métro sans conducteur au Monde.

### Un système de transport sans conducteur:

On aura sans doute remarqué que depuis le début de cet article nous avons employé les mots sans conduc-

Figure 2: Métro de LILLE.





## UN METRO SANS CONDUCTEUR: LE VAL

teur alors que le mot automatique semblerait devoir venir naturellement sous la plume. La raison en est que de très nombreux métros au monde sont actuellement automatisés ou tout au moins à conduite automatisée c'est-à-dire que le conducteur est déchargé de toutes les opérations de conduite au sens cinématique du terme (imposer sur un parcours donné un profil de vitesse donné en respectant bien entendu les signaux d'espacement, base de la sécurité ferroviaire). Tous ces métros ont cependant maintenu à son poste le conducteur traditionnel. Les raisons n'en sont pas seulement psychologiques ou sociales. En effet, un conducteur assume bien d'autres fonctions que la conduite proprement dite et en particulier dans toutes les situations imprévues où le jugement humain devient précieux. Supprimer le conducteur nécessite une analyse approfondie de ce que l'on appelle en jargon d'ingénieur les "modes dégradés". A chaque mode imaginé une réponse convenable doit être trouvée et ce, si possible, de façon automatique ou par télécommande, l'intervention humaine locale ne pouvant être qu'un dernier recours car elle entraînera des retards importants de service. Le système de transport sans conducteur est un système où l'imprévisible doit avoir été prévu.

C'est donc un pas décisif par rapport à la conduite automatique. Etant donné le caractère récent de ces systèmes, le vocabulaire n'est pas encore normalisé.



Figure 3 : VAL : Système de transport sans conducteur - Pas décisif par rapport à la conduite automatique.

Un terme semble cependant se faire jour : celui de système à Automatisme intégral, mais encore une fois c'est l'absence de conducteurs qui est fondamentale.

VAL est-il le premier métro sans conducteur au Monde ?

La question peut être controversée. La première tentative remonte aux années 1960 avec le BART, le métro de SAN FRANCISCO, qui se heurtera à de graves difficultés. Plus tard, les dessertes d'aéroport de l'américain WESTINGHOUSE seront les ancêtres du VAL et restent d'ailleurs leur plus sérieux concurrent. Cependant il s'agit de petits systèmes opérant sur des distances courtes avec quelques véhicules ; on les a parfois comparés à des ascenseurs horizontaux. Légèrement antérieurs au VAL existent encore deux systèmes japonais (KOBE et OSAKA).

Aucun des deux n'assurent des trafics aussi importants sur des distances aussi longues en desservant les principaux quartiers d'une agglomération importante. Il semblerait également que, au moins dans les débuts, un "assistant" accompagnait systématiquement les véhicules, ce qui n'a jamais été le cas du VAL. Premier ou non le VAL est réellement un métro sans conducteur et encore aujourd'hui les systèmes comparables en service se comptent sur les doigts d'une main.

### Pourquoi des métros sans conducteur :

La réponse vient immédiatement : pour économiser le personnel de conduite. En période de crise sociale cette réponse est choquante, mais de plus elle est partiellement inexacte. Bien que les dépenses de personnel représentent 60 à 70 % des comptes d'exploitation des systèmes de transport conventionnels on ne peut d'un trait de plume supprimer les conducteurs au nom d'une simple optimisation économique. Bien sûr, on reprendra l'argument du déplacement des emplois, de la conduite vers l'entretien d'un système plus complexe ; il n'est vrai qu'en partie. Pour se justifier l'automatisme intégral doit présenter des arguments plus convaincants :

#### Temps d'attente et flexibilité :

Dans ce domaine l'automatisme intégral apporte des avantages que les systèmes classiques ne pourraient égaler qu'en embauchant encore plus de conducteurs ce qui deviendrait tout à fait insupportable sur le plan des coûts. Prenons trois exemples :

- soit à assurer un trafic de 6000 passagers par heure, et par sens, cela peut se faire :
  - avec des trains de 400 passagers passant toutes les quatre minutes,
  - avec des trains de 200 passagers passant toutes les deux minutes,

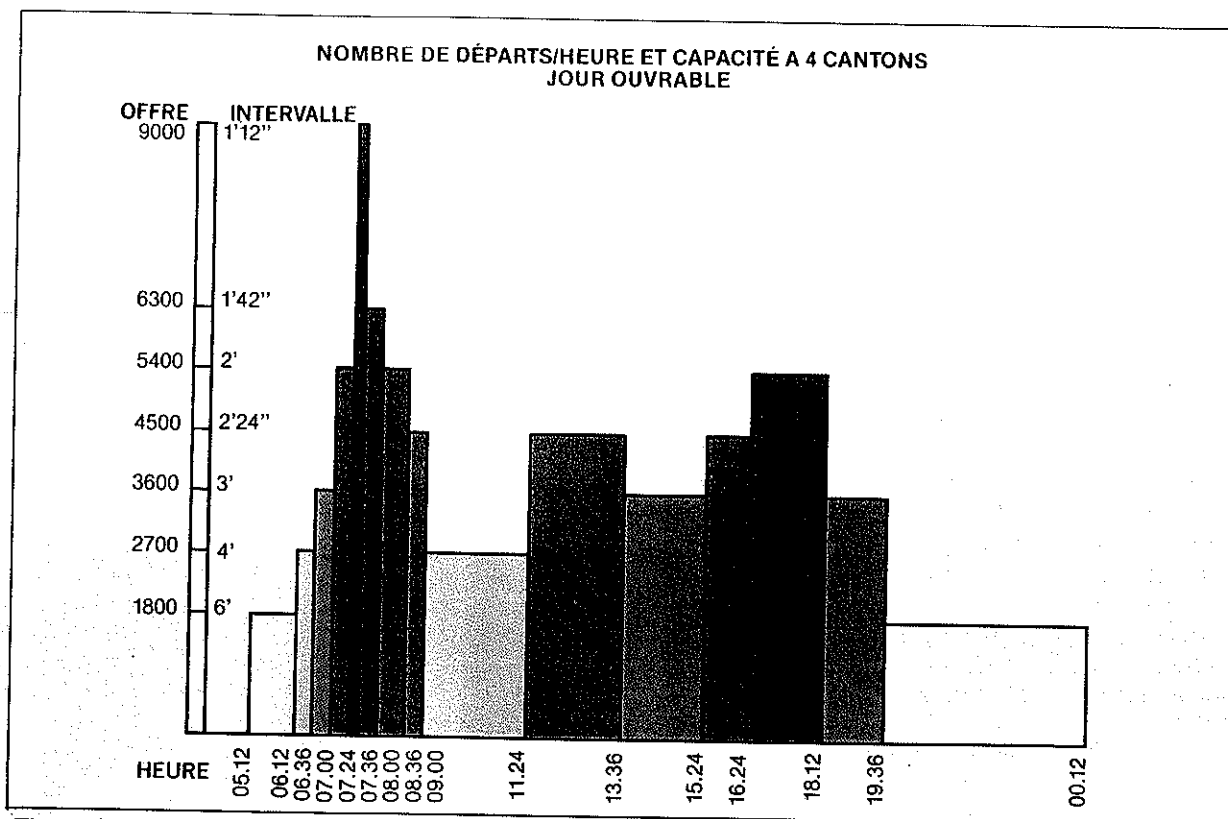


Figure 4a : VAL de LILLE: Programme d'exploitation en jour ouvrable à la station "4 CANTONS".

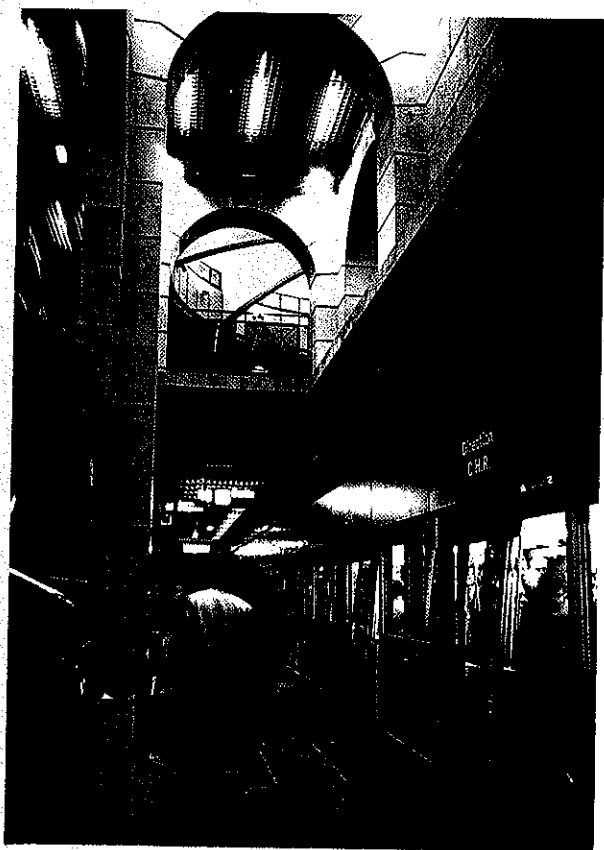


Figure 4b: VAL de LILLE: Station "REPUBLIQUE" aux heures de pointe.

— avec des trains de 100 passagers passant toutes les minutes.

Il est clair que la dernière solution est beaucoup plus confortable, puisque le voyageur n'attendra "en moyenne" son train que 30 secondes. Cependant le coût en personnel est dans ce cas quatre fois plus élevé que dans la première solution, sauf bien entendu pour le système sans conducteurs. Le temps maximum d'attente entre deux véhicules est appelé "intervalle" par les techniciens. Seul l'automatisme peut conduire à l'objectif :

#### "Intervalles courts - Trains courts"

qui, poussé à l'extrême, mène aux systèmes de transport "continus" chers aux inventeurs.

Le VAL a montré par des démonstrations de plusieurs heures qu'il était capable d'intervalles de 1 minute. La seule limite actuellement pour généraliser un tel intervalle est le nombre de véhicules.

● Dans un système classique on distingue traditionnellement les heures creuses et les heures de pointe. Le "parc", nombre total de véhicules disponibles, est bien évidemment calculé en fonction des heures de pointe. Mais, toujours pour réduire le personnel, on limite parfois à l'extrême le nombre de trains en ligne aux heures creuses.

Le "planning" des conducteurs est difficile à établir ; on peut être amené à fractionner les temps de travail. Rien de tel avec un système sans conducteur. On constate d'ailleurs immédiatement qu'à Lille les trains roulent plus (80 000 km/an) que sur un système

## UN METRO SANS CONDUCTEUR: LE VAL

classique. Ceci est dû au fait que le coût marginal du kilomètre est faible. L'investissement est ainsi mieux rentabilisé, en termes du moins de service public, mais aussi en termes financiers car l'on attire aux heures creuses une clientèle supplémentaire qui n'aurait pas supporté de trop longs temps d'attente. De très sérieuses études ont permis de chiffrer l'augmentation de fréquentation en fonction de celle de l'offre.

● Un système sans conducteur peut facilement gérer les pointes exceptionnelles de courte durée. Un exemple classique est la sortie d'un stade ou du théâtre. Quelques trains supplémentaires injectés depuis le poste central de commande régleront la question. Même si cet exemple peut paraître anecdotique, il met cependant en évidence la flexibilité exceptionnelle d'un système sans conducteur.

L'augmentation de la fréquence a encore d'autres avantages : selon les spécialistes, elle assure un meilleur "remplissage" des trains. En clair, un voyageur qui sait que l'attente sera brève laissera passer un train surchargé et montera dans le suivant. Ce comportement aura un effet stabilisant sur les temps d'arrêt en station et facilitera la régulation de trafic.

En conclusion, seul l'automatisme permet à investissement égal de matériel :

- ☐ d'augmenter et d'améliorer l'offre, en particulier en termes de fréquence et d'heures creuses,
- ☐ de s'adapter, à une demande complexe ou fluctuante.

Ce faisant, il peut attirer une clientèle supplémentaire. On peut ainsi dire qu'un métro sans conducteur est le concurrent le plus efficace de l'automobile dans les centres villes.

### Sécurité:

La sécurité est bien entendu l'obsession de tout concepteur d'un système de transport.

On est malheureusement obligé d'admettre que l'erreur humaine est souvent à l'origine des accidents graves. L'exemple de Lille, bien que manquant encore un peu de recul aux yeux des statisticiens, est en cela très encourageant : "aucun accident humain grave en cinq ans de service". La plupart des incidents est à porter au débit des escaliers mécaniques !

Prenons d'autre part quelques exemples des améliorations introduites indirectement par l'automatisme.

L'un des rôles essentiels restant dévolus aux conducteurs sur les métros classiques est celui de surveiller la fermeture des portes et en particulier que personne ne puisse au départ être entraîné par le train. Cette fonction était très délicate à réaliser par des moyens automatiques. Le choix s'est alors porté sur un système à doubles portes, portes de stations fixes dites "palières" et portes de voiture. Ce système est bien connu sur les ascenseurs. Bien que ceci ne soit pas le but premier, a été résolue du même coup la question préoccupante des chutes sur la voie.

Le VAL métro sans conducteur n'a pas non plus de personnel permanent en station. La multiplication des caméras de télévision nécessaires pour surveiller les quais, escaliers mécaniques, salles de billetterie et détecter immédiatement les petits incidents, malaises etc. s'est révélée très dissuasive contre le vandalisme et les violences. La menace d'une voix "tombée du ciel", le sentiment que l'on est personnellement suivi des yeux sans pouvoir rien faire pour s'y opposer suffira dans la plupart des cas à arrêter le petit malfaiteur. Une bande qui s'attaquait aux distributeurs de billets a ainsi pu être identifiée facilement.

### Motivation du personnel:

Le métro qui supprime les conducteurs procure en revanche des emplois plus attractifs. Sans parler des

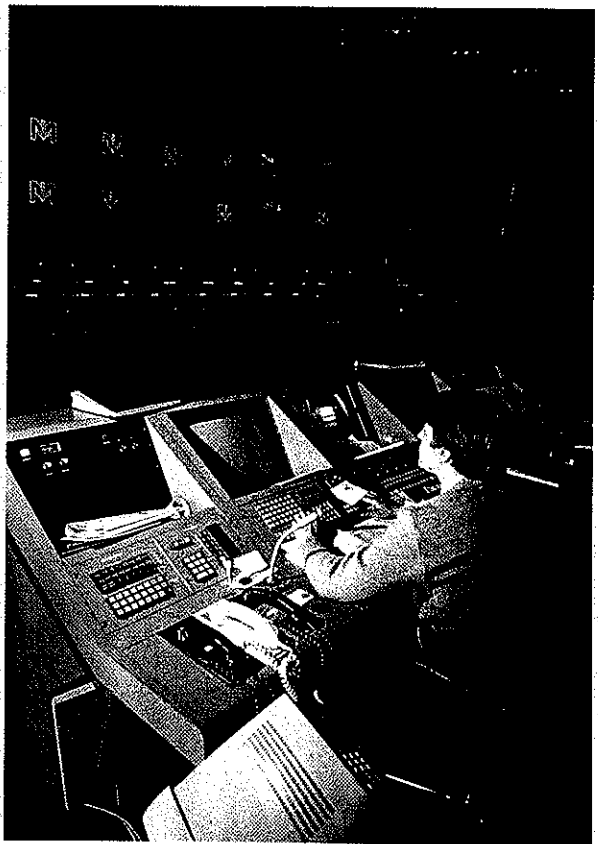


Figure 5 : Poste de Contrôle et de Commande (P.C.C.) assurant la fonction technique d'exploitation et la communication avec les voyageurs.

techniciens, le personnel de contrôle des billets et de surveillance se trouve valorisé. Circulant sur l'ensemble de la ligne sa tâche est moins fastidieuse, ses missions plus diversifiées et en conséquence son efficacité accrue.

### Accès aux personnes à mobilité réduite:

Depuis quelques années des efforts considérables sont faits pour ouvrir les systèmes de transport aux



*Figure 6: Le VAL est accessible aux personnes à mobilité réduite. A l'arrivée de la rame en station, les portes palières et les portes du véhicules s'ouvrent simultanément. Le plancher de la voiture est au niveau du quai.*

personnes à mobilité réduite. Le VAL conçu dès le début dans ce sens apporte la preuve qu'un métro sans conducteur est parfaitement accessible à ces personnes et leur offre même un confort supérieur. Les doubles portes sont une sécurité considérable, en particulier pour les non voyants. La surveillance permanente et la facilité de communication avec le poste de contrôle central apporte un confort psychologique important.

### **Le véhicule VAL :**

Comme il a été dit plus haut MATRA pour concevoir et construire le véhicule de son système s'était associé à deux filiales de la CEM, CIMT pour les parties mécaniques et TCO pour les parties électriques. En 1984, dans le cadre de l'absorption d'une partie des activités de la C.E.M. par ALSTHOM, le nom de T.C.O. disparaissait et CIMT, dont le nom était conservé, devenait pour ALSTHOM une filiale à part entière. Le VAL est donc aujourd'hui un pur pro-

duit de la division traction d'ALSTHOM. Venons en maintenant à la conception technique de ce véhicule.

### **Généralités :**

Le véhicule de la ligne 1 de Lille se compose de deux voitures indissociables fonctionnellement. L'ensemble est à Lille appelé "élément". Les Américains, qui aiment les expressions imagées, appellent cela une "married pair". Il est prévu dans le futur (toutes les stations sont déjà construites pour) de pouvoir associer deux éléments pour former des trains de quatre voitures et porter la capacité actuelle de 12 000 passagers par heure et par sens à 24 000 passagers par heure et par sens. Lille disposera alors d'une capacité de transport équivalente à celle d'une ligne chargée du métro parisien classique. Encore une fois, cette capacité est obtenue par la fréquence plus que par les dimensions. En effet, le VAL reste un métro léger ; les dimensions hors tout de l'élément sont :

- largeur : 2,06 mètres,
- longueur : 27 mètres.

Nous donnons ici la largeur avec précision car au fil des ans, elle donnera son "prénom" au premier véhicule de la famille VAL, le VAL 206 sera donc le véhicule de Lille alors que son cadet le VAL américain sera, comme nous le verrons plus tard, baptisé 256. A peine deux mètres est une largeur faible dans le

## UN METRO SANS CONDUCTEUR: LE VAL



Figure 7: VAL de LILLE: Elément composé de 2 voitures indissociables fonctionnellement.

monde du transport. Autobus et métro parisiens se rencontrent autour de 2,50 mètres. Marseille et surtout Lyon ont des métros encore plus larges sans parler du R.E.R. ou des "monstres" américains qui dépassent les trois mètres. Le tramway français, que l'on compare souvent au VAL, est à 2,30 mètres. Alors trop étroit le VAL ?

Les Lillois ne semblent pas le penser et encore moins

ses concepteurs qui connaissent bien les coûts de génie civil.

En effet, malgré les progrès incessants de l'électronique, les métros sans conducteurs ne peuvent pas encore "partager leur site" avec les automobiles et encore moins les cycles et les piétons comme le font les autobus et dans une moindre mesure les tramways.

Il leur faut un "site propre" comme disent les spécialistes. En Europe, les avenues suffisamment larges pour pouvoir être amputées de deux couloirs de circulation sont rares ; restent donc le viaduc ou le tunnel. Toujours en Europe, le viaduc est mal accepté et la notion de métro est très liée à celle de tunnel.

Il faut savoir que le coût du tunnel brut représente 60 à 70 % du coût total d'un système de transport enterré y compris les véhicules. Le gabarit du véhicule est donc un facteur important du coût du système.

La possibilité d'accoupler automatiquement deux éléments est déjà utilisée dans le système actuel.

MATRA a prévu en effet l'accostage automatique d'un train immobilisé par le train qui le suit et ceci bien entendu en toute sécurité. C'est la procédure dite de "poussage", et cela toujours sans conducteur.

Figure 8: VAL de LILLE Chaudron en cours de construction.





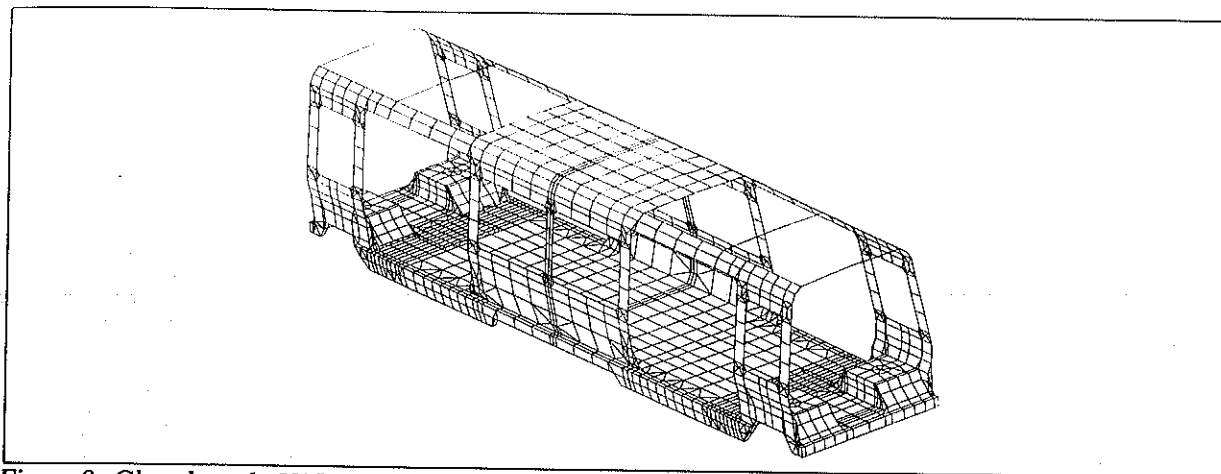


Figure 9: Chaudron du VAL 256: Modélisation de la structure en éléments finis exécutée par C.A.O.

## La Caisse

C'est le nom que l'on donne au compartiment voyageur par opposition au roulement plus connu en chemin de fer sous le nom de bogie. La caisse nue est encore appelée "chaudron". Le chaudron donc du VAL est une coque autoportante en aluminium. La

notion de coque autoportante est bien connue en automobile où les châssis carrossés ont disparu depuis longtemps. Le chaudron du VAL comprend ainsi deux faces, un plancher et un pavillon tous travaillants. Les demi bouts rapportés sont en plastique moulé. En aluminium : en 1974 c'est le premier

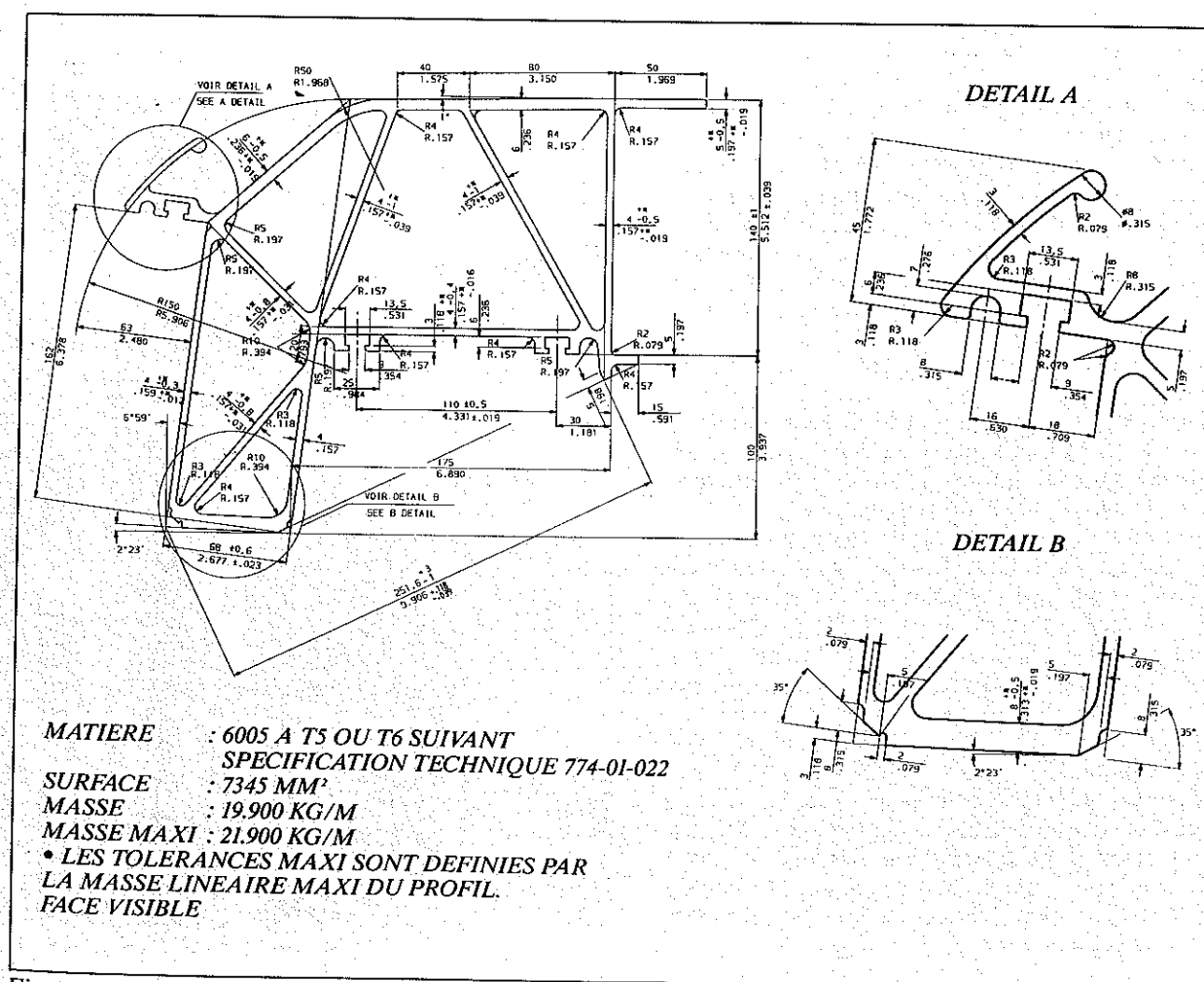


Figure 10: Battant de face du VAL 256.

## UN METRO SANS CONDUCTEUR : LE VAL

choc pétrolier, il faut économiser de l'énergie. Un moyen évident est de réduire la masse des véhicules. L'aviation a montré la voie depuis longtemps. Le VAL sera donc en aluminium et surtout en profilés d'aluminium. Le "filage" de l'aluminium est en pleine expansion et permet d'obtenir en grandes longueurs des pièces de section transversale très complexe. Un exemple banal, les huisseries de fenêtre, permet de fixer les idées. Mais la comparaison avec l'aviation s'arrête là. En effet, les assemblages aviation font appel essentiellement au rivetage ; pour le ferroviaire ce sera le soudage. Mais tout ceci est maintenant devenu classique. Bien entendu le chaudron fait l'objet de calculs poussés de résistance des matériaux (calculs aux éléments finis et calculs de fatigue). De même des essais en vraie grandeur sont effectués pour vérifier les calculs théoriques. Les formes complexes d'un chaudron, en particulier les ouvertures latérales des portes et des vitres, demandent une grande finesse dans les calculs et les mesures.

### Les équipements de caisse :

L'aménagement intérieur d'un véhicule fait toujours l'objet de discussions passionnées. Il faut tout d'abord choisir la vocation du véhicule. Donnera-t-on la préférence aux assis ou aux debouts. Un assis vaut deux debouts (quatre en charge maximum). C'est le tracé du diagramme. Il fixe la capacité du véhicule, c'est donc un choix fondamental. Pour le VAL, une disposition peu utilisée en France mais relativement classique dans d'autres pays, sera retenue. Les passagers assis sont adossés aux faces latérales, c'est-à-dire perpendiculairement au sens de la marche. Etant donné la faible largeur du véhicule, cette disposition donne une plus grande impression d'espace ; elle évite aussi les sièges contraires au sens de la marche, inévitables autrement pour un véhicule réversible.

Il faut également fixer le nombre de portes et leur largeur.

Avec un intervalle de 1 minute on ne peut perdre trop de temps en station. Vingt secondes d'arrêt sont pratiquement un maximum. La distance maximale du passager à la porte la plus proche, la largeur offerte sont autant de paramètres qui influencent les temps de chargement et de déchargement. En définitive, trois portes par face, de 1 300 mm chacune, furent retenues. Compte tenu de la disposition des sièges la circulation dans le VAL est particulièrement aisée.

Ces choix faits, le nombre de sièges par voiture s'en déduisait : trois banquettes de trois sièges entre les portes plus un "salon" de quatre sièges en extrémité. Soit 22 sièges. A noter qu'aux extrémités avant et arrière de l'élément les "salons" occupent la place des cabines de conduite évidemment absentes. Ces 22 sièges représentent 30 % de la charge normale soit, une proportion honorable. Cependant pour les heures creuses, 10 strapontins furent rajoutés portant ainsi la proportion d'assis à 50 %.

Beaucoup d'autres problèmes se posent pour les aménagements intérieurs : chauffage, ventilation, éclairage,

acoustique, position des barres de maintien, systèmes de communication, choix des matériaux suivant les critères les plus sévères de résistance au feu, pupitres de commande manuelle, (il y en a quand même, mais soigneusement fermés à clef), et, loin d'être négligeable, le choix des couleurs !



Figure 11 : VAL de LILLE vue intérieure.

Mais on ne peut les évoquer tous dans un article. En fait, le métier de caissier se rapproche de celui de l'architecte puisque tous deux recherchent le meilleur environnement pour le passager ou l'habitant.



Figure 12 : VAL de LILLE : Système à double portes automatiques. Des portes palières en bordure des quais évitent les chutes sur la voie.

## Les portes:

Les portes sont un des éléments fondamentaux de la qualité d'un véhicule; elles se jugent selon deux critères:

### Disponibilité:

Bon an ou mal an chaque porte exécutera plus de deux millions cinq cent mille manœuvres dans la vie du véhicule. Au total quinze millions pour une voiture à six portes. Or toute défaillance de porte nécessite pratiquement une intervention humaine car le risque potentiel d'accident grave est trop important. Admettons qu'une manœuvre sur cent mille soit manquée, cela représenterait 150 incidents sur vingt ans, et, pour un parc de quarante éléments (80 voitures), 12 000 incidents sur 20 ans, soit près de deux par jour, c'est évidemment inacceptable. Il faut faire beaucoup mieux. Or l'environnement d'une porte est très sévère: en plus des interférences avec les passagers, les portes coulisent dans un chaudron déformable, et sont soumises sur leurs deux faces à des écarts de température, importants en hiver, écarts qui entraînent des dilatations différentielles.

### Sécurité:

Les portes sont l'interface principal du véhicule avec le passager. Il faut éviter tout risque de coincement des doigts, en particulier enfantins, entre partie mobile et partie fixe. La manœuvre doit être rapide sans être brutale. L'effort de fermeture doit être tel

qu'un voyageur même robuste ne puisse réouvrir une porte en train de se fermer; cependant, il doit rester supportable pour un membre coincé. Les portes modernes sont d'ailleurs munies de systèmes de détection d'obstacle. Une fois fermée, la porte doit être verrouillée mécaniquement de façon sûre mais elle doit aussi pouvoir être déverrouillée par une poignée dite d'évacuation jouant en même temps le rôle de signal d'alarme.

En fait les portes à elles seules sont un véritable système. Dans un tel domaine il aurait été très risqué d'innover. Les portes du VAL sont donc classiques. Elles sont manœuvrées pneumatiquement.

## Le roulement:

Les systèmes sans conducteur mettent l'accent sur la rapidité de déplacement. En plus des temps d'attente et des temps d'arrêt en station, il faut aussi réduire le temps de roulement. Or, dans un métro, les distances entre stations sont comprises entre 500 et 1 000 mètres et souvent plus proches de 500. Un calcul simple montre que pour accélérer de 0 à 20 mètres par seconde (72 km/h) avec une accélération moyenne de 1 m/s/s il faut 200 mètres et autant pour freiner. Augmenter la vitesse maximale est finalement de peu d'utilité d'autant plus que l'on est limité par les courbes; il faut donc jouer sur les accélérations. Là encore une difficulté avec les systèmes sur fer: la limite d'adhérence. Plus de 10 ans avant le

*Figure 13: VAL de LILLE: Entièrement automatique, le VAL a été spécialement étudié pour transporter les voyageurs en toute sécurité.*



# UN METRO SANS CONDUCTEUR: LE VAL

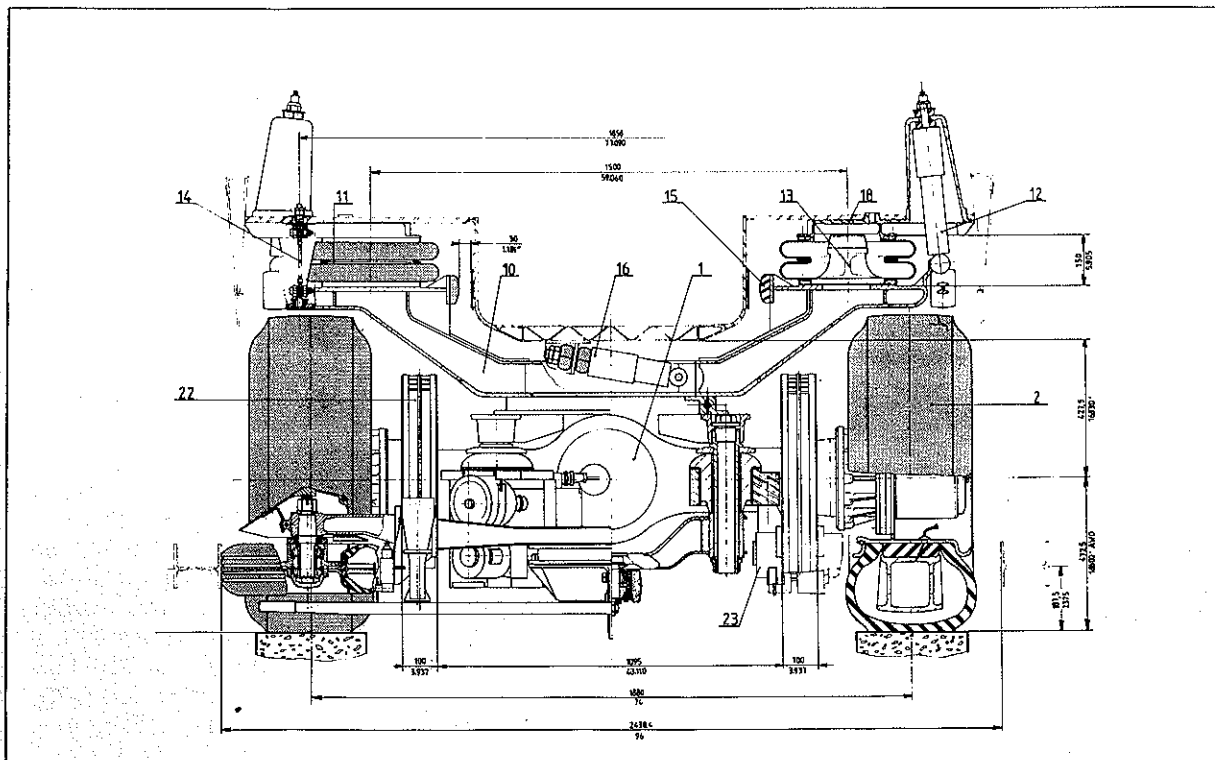


Figure 14: VAL 256: Ensemble Roulement - Coupes transversale.

- |                                      |                                      |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Moteur                             | 9 Arbre de transmission              |
| 2 Roue porteuse à pneu               | 10 Traverse pivot                    |
| 3 Roue de guidage à pneu             | 11 Coussin de suspension pneumatique |
| 4 Roue interne auxiliaire métallique | 12 Amortisseur de choc vertical      |
| 5 Galet d'aiguillage                 | 13 Amortisseur de choc latéral       |
| 6 Pont                               | 14 Bielle de traction basse          |
| 7 Disque de frein                    | 15 Bielle de traction haute          |
| 8 Cylindre de frein                  | 16 Frotteur                          |

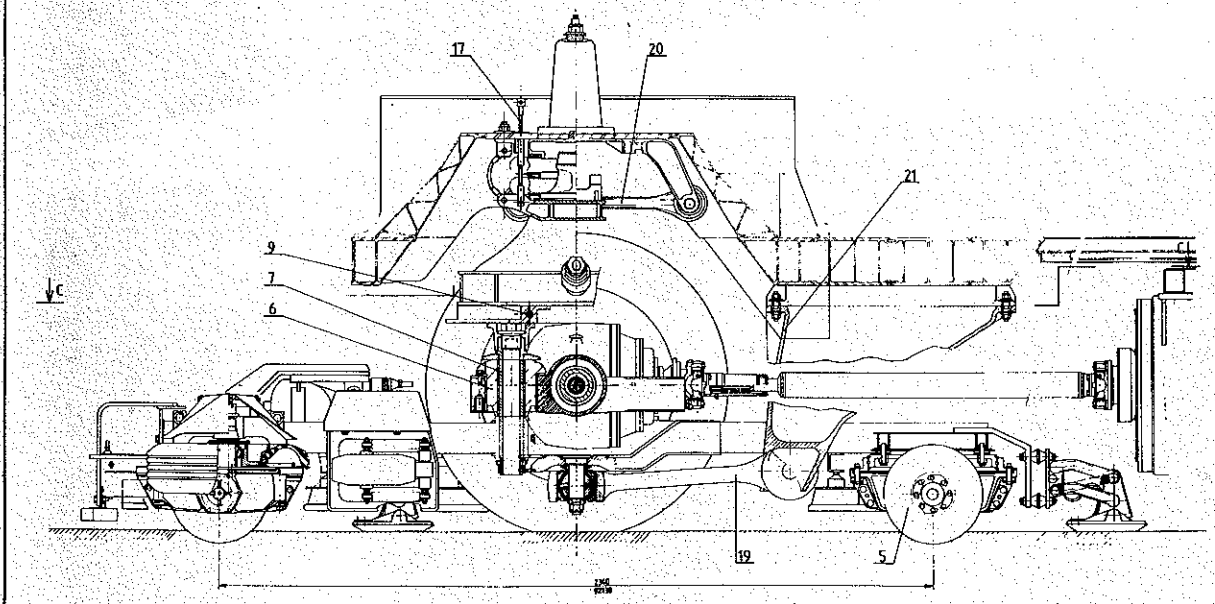


Figure 15: VAL 256: Ensemble roulement - Coupe longitudinale.

début des études VAL, le métro de Paris s'était déjà tourné vers le pneu.

Grossièrement le pneu apporte une adhérence deux fois supérieure à celle de la roue fer. Westinghouse avait fait le même choix pour ses navettes.

Mais le pneu étant retenu, un deuxième choix se présentait : bogie ou essieu simple ?

On sait que le bogie est un regroupement de deux essieux dans le même châssis. Ceci permet d'augmenter la masse d'un véhicule sans atteindre des charges par essieu critiques pour la voie ; par ailleurs le guidage roue rail se trouve amélioré. Pour le pneu, les charges par essieu sont fixées par le pneu lui-même et non par la voie et le guidage n'est pas réalisé par les roues principales. Les pneus disponibles à l'époque avaient une charge maximale de 6 tonnes.

Les devis de masse montrèrent que 24 tonnes étaient suffisantes (passagers compris) pour le véhicule envisagé et que l'on pouvait donc recourir à des essieux simples (deux par voiture). L'idée d'origine était d'utiliser des essieux de poids lourds ; pour différentes raisons il fallut malheureusement apporter certaines modifications et tout en utilisant la même technologie l'essieu du VAL est relativement spécifique.

Pour le guidage, on eut recours à la même technique que le métro de Paris. L'essieu est fixé sur un cadre rectangulaire. Aux quatre coins sont montés quatre roues plus petites que les roues principales et également munies de pneumatiques. Ces roues de guidage roulent sur les faces verticales de deux larges profilés métalliques ancrés sur les côtés des pistes de roulement. On met d'ailleurs à profit ces profilés pour alimenter électriquement le véhicule en utilisant les propriétés isolantes du pneumatique pour isoler les rails du reste de la voiture. Jusqu'à présent, malgré une certaine originalité, le roulement du VAL regroupait des solutions connues. C'est dans la résolution du problème de l'aiguillage que les concepteurs durent résolument innover. Il est clair que dans une aiguille, ou plus simplement une bifurcation, seules les roues droites ou gauches selon la voie choisie peuvent bénéficier d'un guidage continu ; mais bien entendu un guidage unilatéral est totalement inadéquat. Sur ce point pratiquement tous les systèmes sur pneu, au monde, diffèrent. La solution retenue pour le VAL, tout en étant originale, fait appel à des techniques connues. Dans les zones d'aiguille on plante dans l'axe de la voie deux rails conventionnels parallèles. L'espace entre ces deux rails est baptisé ornière.

Au cœur de la bifurcation l'ornière se scinde en deux.

Une ornière continue dans l'axe de l'ornière arrivante, une autre bifurque en suivant l'axe de la voie déviée. La tête du V formé par les rails internes est flexible :

c'est en fait une aiguille de chemin de fer. Elle peut être appiquée contre l'un ou l'autre des deux rails externes. Avec un peu d'imagination on voit que l'on

peut ainsi former à volonté et selon la position de l'aiguille, deux ornières continues, l'une rectiligne, l'autre curviligne. Le cadre de guidage du véhicule, porte à chaque extrémité un galet mince à plan vertical et axe horizontal. Quand le véhicule approche de l'aiguille les quatre galets, deux par essieu, s'engagent successivement dans l'ornière, et selon la position de l'aiguille, le véhicule est dévié ou continue sur la voie principale. Ce système présente des temps de manœuvre particulièrement courts, le déplacement de l'aiguille est de quelques centimètres, et bénéficie des sécurités longuement mises au point par des dizaines d'années de technique ferroviaire.

### La suspension :

Entre caisse et roulement la suspension assure le confort des passagers. Sur le VAL elle est pneumatique et associée à un nivellement automatique, c'est-à-dire que, si le plancher du véhicule a tendance à descendre en fonction de la charge, un mécanisme lié d'une part à ce plancher, d'autre part au roulement ouvre une vanne qui injecte de l'air dans les coussins de suspension jusqu'à ce que la distance caisse roulement soit rétablie. Les coussins travaillent donc à volume constant et pression variable. Ce système présente plusieurs avantages :

- hauteur de plancher constante et, au moyen d'un réglage initial, à niveau avec le quai. Ceci est particulièrement important pour l'accès aux handicapés en fauteuil,

Figure 16: VAL de LILLE: Un élément s'engage sur l'aiguillage.



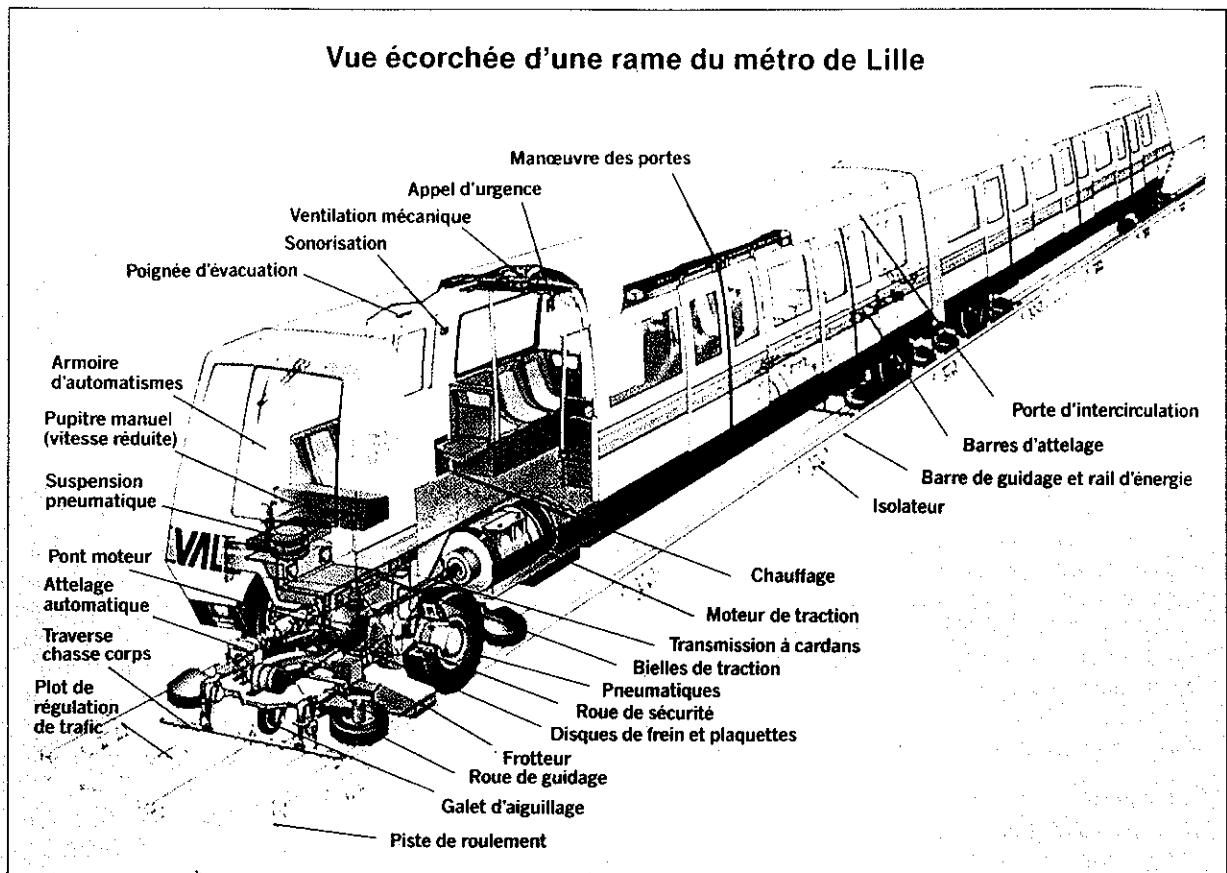


Figure 17: Vue écorchée d'une rame du métro de LILLE.

□ fréquence de suspension indépendante de la charge puisque la raideur des coussins ressorts est liée à la masse suspendue.

Le nivellement n'est actif qu'en station de façon à ce que le confort ne soit pas perturbé par les phénomènes dynamiques ou les mouvements de passagers.

### Les freins:

Indépendamment du frein électrique décrit plus loin le VAL est équipé de puissants freins à friction. Comme on l'a vu c'est une condition nécessaire pour obtenir une vitesse moyenne élevée. Avec l'apparition du pneu il n'était plus question d'utiliser les traditionnels freins à sabots agissant directement sur la roue fer. (La roue est un excellent dissipateur d'énergie). Sautant l'étape du frein à tambour les ingénieurs ferroviaires ont immédiatement adopté le frein à disque. Chaque essieu du VAL est donc muni de deux disques autoventilés. Le serrage des freins est assuré par des ressorts et le desserrage par une pression pneumatique comme pour les portes et la suspension.

Le freinage des métros dont, en particulier, le freinage des métros sans conducteur pourrait à lui seul faire l'objet d'un article. Nous nous contenterons de citer les qualités fondamentales qu'il doit posséder :

— Sécurité : c'est le critère principal. D'où le choix d'un ressort pour appliquer le frein. Par ailleurs, les calculs de dimensionnement sont menés pour garantir la décélération contractuelle en urgence de 1,8 m/s/s pour la charge maximale, avec un coefficient de friction entre disques et plaquettes minimum. Les circuits pneumatiques et électriques sont conçus suivant les principes dits "fail safe" ou encore de "sécurité intrinsèque"; c'est-à-dire que toute défaillance doit conduire à un état "sûr" ne pouvant empêcher le serrage du frein.

— Précision :

Le VAL doit s'arrêter devant les portes de la station avec une précision courante de  $\pm 10$  cm. En effet la largeur des portes est seulement de 1300 mm. Ces 10 cm représentent 0,5 % de la distance d'arrêt totale.

— Endurance :

En l'absence de frein électrique les freins à disque doivent à eux seuls assurer un service normal à raison d'un arrêt toutes les minutes. Dans ces conditions la température des disques peut atteindre 400°. Bien entendu le freinage d'urgence doit dans ces conditions conserver ses performances.

Précisons encore un point sur les circuits dits de frein d'urgence. Pour des raisons de sécurité ces circuits doivent être particulièrement simples et l'on ne peut envisager des systèmes progressifs. Il faut agir par "tout ou rien". Or, la décélération obtenue, pour un

effort donné appliqué au disque, dépend de trois paramètres principaux :

- ☐ la charge du véhicule,
- ☐ le coefficient de friction entre disque et plaquettes,
- ☐ la pente de la voie.

La masse entre véhicule vide et véhicule en charge exceptionnelle peut varier de 50 %. Le coefficient de friction varie de 0,25 à 0,45. La pente de la voie peut atteindre 7 %. Ainsi, pour une décélération garantie, à pleine charge, sur le plat, de 1,8 m/s/s, on pourra, en rampe de 7 %, à vide, atteindre 5 m/s/s.

C'est évidemment inacceptable pour le confort des passagers.

Heureusement pour ce confort, l'effet de pente de la voie se combine à l'effet de décélération de façon qu'un véhicule de masse donnée, soumis à un effort de freinage donné, aura pour les passagers le même confort quelle que soit la pente de la voie.

Restent les deux autres paramètres, charge et coefficient de friction. Beaucoup de métros disposent d'une compensation à la charge, utilisant souvent la pression dans les coussins de suspension. Ce système relativement complexe, est également critiquable sur le plan de la sécurité. De plus, il ne compense pas les variations du coefficient de friction.

Sur le VAL on utilise un décélérostat constitué par du mercure se déplaçant dans un tube en arc de cercle.

L'ensemble est assimilable à un pendule, prenant avec son repère des angles plus ou moins grands, fonction de l'inclinaison du repère et des décélérations. Le mercure est soumis aux mêmes forces que le corps du passager : c'est donc bien un "indicateur de confort". Quand le mercure remonte suffisamment dans le tube (angle de pendulage suffisant), il ferme un contact électrique. Ce contact est utilisé pour limiter l'effort de freinage. On voit que, par ce système, on a bien accès à l'effort de freinage et non plus à l'effort sur le disque. Le coefficient de friction peut être quelconque. Par ailleurs, la charge est également éliminée : on ne mesure que des pentes et des décélérations. Comme indiqué plus haut, on constate que le confort ne dépend pas de la pente mais de la combinaison pente-accelération mesurée par l'angle de pendulage. Cet angle est une donnée du système, il est réglé à 2,4 m/s/s sur le plat.

### Le système de propulsion-freinage :

À l'époque où le VAL se concevait, les systèmes de propulsion étaient déjà en pleine évolution. Ils n'ont pas cessé depuis. Si le moteur à courant continu était encore roi, ses méthodes de contrôles changeaient radicalement. Très généralement les véhicules de transport urbain sont alimentés en courant continu, la tension la plus classique en France étant de 750 V.

Sur le VAL, comme on l'a dit, les rails de guidage latéraux servent aussi d'alimentation, respectivement positive et négative. Cette tension est dite constante, en dépit des fortes fluctuations dues aux variations des courants circulant dans les rails. Or, bien évidemment, la vitesse des moteurs de propulsion doit être variable. Tension constante, vitesse variable, tel est le problème qu'ont dû résoudre des générations d'ingénieurs électriciens.

Jusqu'au début des années 1970, les schémas utilisant des résistances étaient les seuls utilisés. Ces résistances parcourues par des courants importants étaient encombrantes, consommatrices d'énergie et constituaient un risque permanent d'incendie. L'utilisation des semi-conducteurs de puissance, déjà très répandus dans les installations au sol pour des schémas plus simples, allait transformer le transport urbain. C'est l'apparition des "hacheurs". Ces hacheurs, de l'américain "chopper", sont des circuits à semi conducteur qui permettent d'injecter dans les moteurs des "tranches" de tension de largeur variable, séparées par des temps de repos.

On obtient ainsi une tension moyenne variable. La fréquence peut être fixe ou variable.

Pour prendre une image simple, le hacheur fonctionne comme un transformateur à courant continu dont on peut faire varier à volonté le rapport de transformation. Le VAL se devait d'adopter ce nouveau système de contrôle, surtout à une époque où les coûts d'énergie croissaient de façon dramatique.

Toujours sous la pression des coûts d'énergie, il fallait aussi revoir la question du freinage. On sait qu'un moteur électrique peut toujours dans certaines conditions fonctionner en génératrice. De l'énergie mécanique transmise à son arbre est transformée en énergie électrique. En transport, l'énergie mécanique peut être empruntée à l'énergie cinétique emmagasinée dans le véhicule ; il y a ainsi diminution de l'énergie cinétique, et c'est ce que l'on appelle le freinage électrique. Mais que faire de cette énergie électrique ? Les anciens systèmes la dissipaient dans les résistances qui avaient déjà servi pour les démarrages. Mais si l'on supprimait ces résistances il devenait naturel de vouloir réutiliser cette énergie, c'est la récupération.

Il serait pensable de généraliser cette notion aux sous stations d'alimentation qui à leur tour pourraient renvoyer de l'énergie vers le réseau de distribution à courant alternatif. Cela a été tenté sur certains métros, mais la rentabilité de l'investissement est incertaine. De plus certains réseaux de distribution refusent de "racheter" les kilowatt-heure retournés :

les compteurs ne sont pas réversibles ! L'énergie en général, et c'est le cas du VAL, reste donc prisonnière du réseau 750 V. Elle doit être réutilisée par les autres

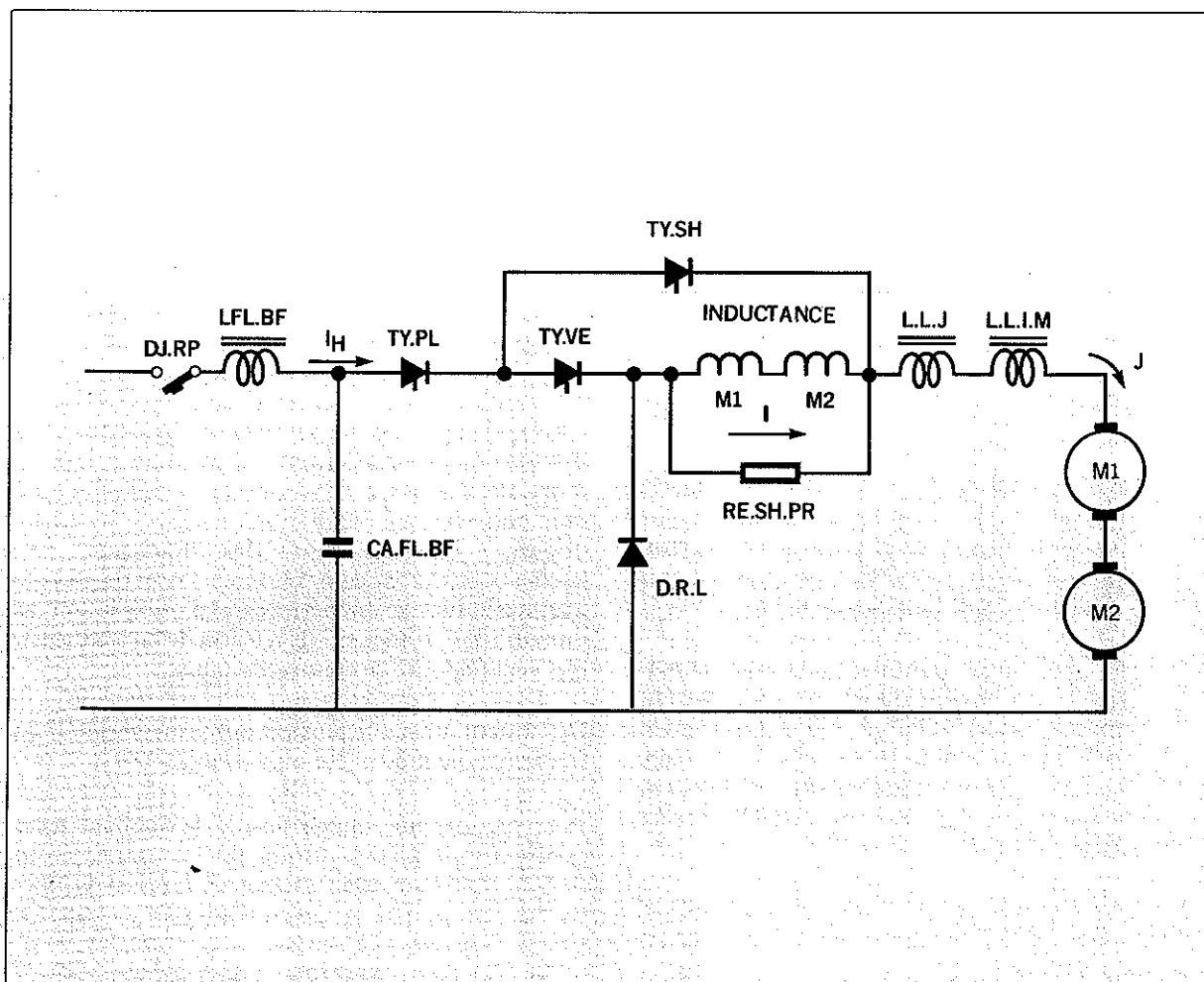


Figure 18: Schéma de principe en mode TRACTION.

trains, qui bien entendu, dans ce cas, doivent être en période de consommation. On conçoit donc qu'une bonne récupération nécessite la désynchronisation volontaire des trains, ce qu'un système à automatisation intégral peut réaliser facilement.

Le cahier des charges du système de propulsion du VAL est maintenant tracé: "Moteurs à courant continu alimentés à partir d'une tension continue 750 V par des hacheurs de courant permettant le freinage électrique par récupération d'énergie". Examinons le un peu plus en détail:

#### Les moteurs:

Chaque essieu est entraîné par un moteur à courant continu. Cette solution "tous essieux moteurs" permet la meilleure utilisation de l'adhérence. L'essieu inspiré des techniques poids lourds, possède un différentiel associé à un premier étage de réduction à pignons coniques assurant le renvoi d'angle. Mais un deuxième étage de réduction épicycloïdal est intégré dans chaque roue. Cette astuce permet des rapports de réduction élevés, voisins de neuf, sans grever la masse et les encombrements. Ce rapport élevé con-

duit à des moteurs rapides; or, à puissance égale, la masse d'un moteur électrique est sensiblement inversement proportionnelle à sa vitesse. Moteurs rapides, moteurs légers: c'est le choix du VAL. Les moteurs sont montés sous le plancher et entraînent l'essieu par une transmission homocinétiq à grands débattements. Ils sont ainsi plus accessibles, aisément démontables et protégés par la suspension de la caisse contre les accélérations élevées auxquelles les irrégularités de la voie soumettent l'essieu. Pour les spécialistes, les moteurs sont auto-ventilés à excitation série. Ils bénéficient des derniers progrès en matière d'isolation (classe H).

#### L'alimentation:

Des frotteurs captent le courant à partir des rails latéraux. Nous citerons sans le traiter le problème de mise à la masse, très important sur les véhicules sur pneu, isolés électriquement du sol par ces derniers.

Un élément VAL possède, pour des raisons évidentes de disponibilité, deux hacheurs, un par voiture, alimentant en série les deux moteurs d'essieu. Cependant, on a jugé que certaines fonctions peu sujettes



à défaillance pouvaient être mises en commun. Il en va ainsi du disjoncteur de protection et du filtre complément indispensable de tout système cyclique.

Le passage de traction en freinage des moteurs à excitation série nécessite des modifications du circuit de puissance: c'est la commutation. Sur le VAL elle s'effectue par un commutateur à plusieurs "galettes" commandé par un petit moteur électrique. La solidarité mécanique des "galettes" garantit que tous les circuits ont bien commuté simultanément et interdit donc de façon simple les erreurs de schéma toujours graves. Bien entendu la commutation s'effectue à courant nul pour éviter d'avoir à donner aux contacts des galettes un pouvoir de coupure. Les pertes du hacheur, bien que faibles, quelques pour cent de la puissance transitée, sont évacuées par une ventilation forcée. Les circuits de contrôle sont évidemment électroniques à base de circuits intégrés soudés sur des cartes débrochables, les cartes sont regroupées dans des tiroirs eux-mêmes débrochables.

Cette modularité à deux niveaux est précieuse pour l'entretien. Les circuits assurent fondamentalement:

Les asservissements de courant, la commutation traction freinage et les protections, les asservissements de vitesse et d'accélération sont réalisés par les automatismes de MATRA. Le VAL possédant deux systèmes de freinage, il faut instituer des priorités entre eux, et dans certains cas les utiliser simultanément en partageant le travail car, au contraire du frein à friction, le frein électrique seul ne peut assurer complètement le service. C'est le rôle des circuits dits de conjugaison. Il est clair qu'ils favorisent le frein électrique tout en permettant à tout moment de revenir au frein à friction en cas de disparition de l'effort de retenue électrique.

### Les auxiliaires:

Par convention, les fonctions non décrites précédemment mais tout aussi essentielles dans un véhicule

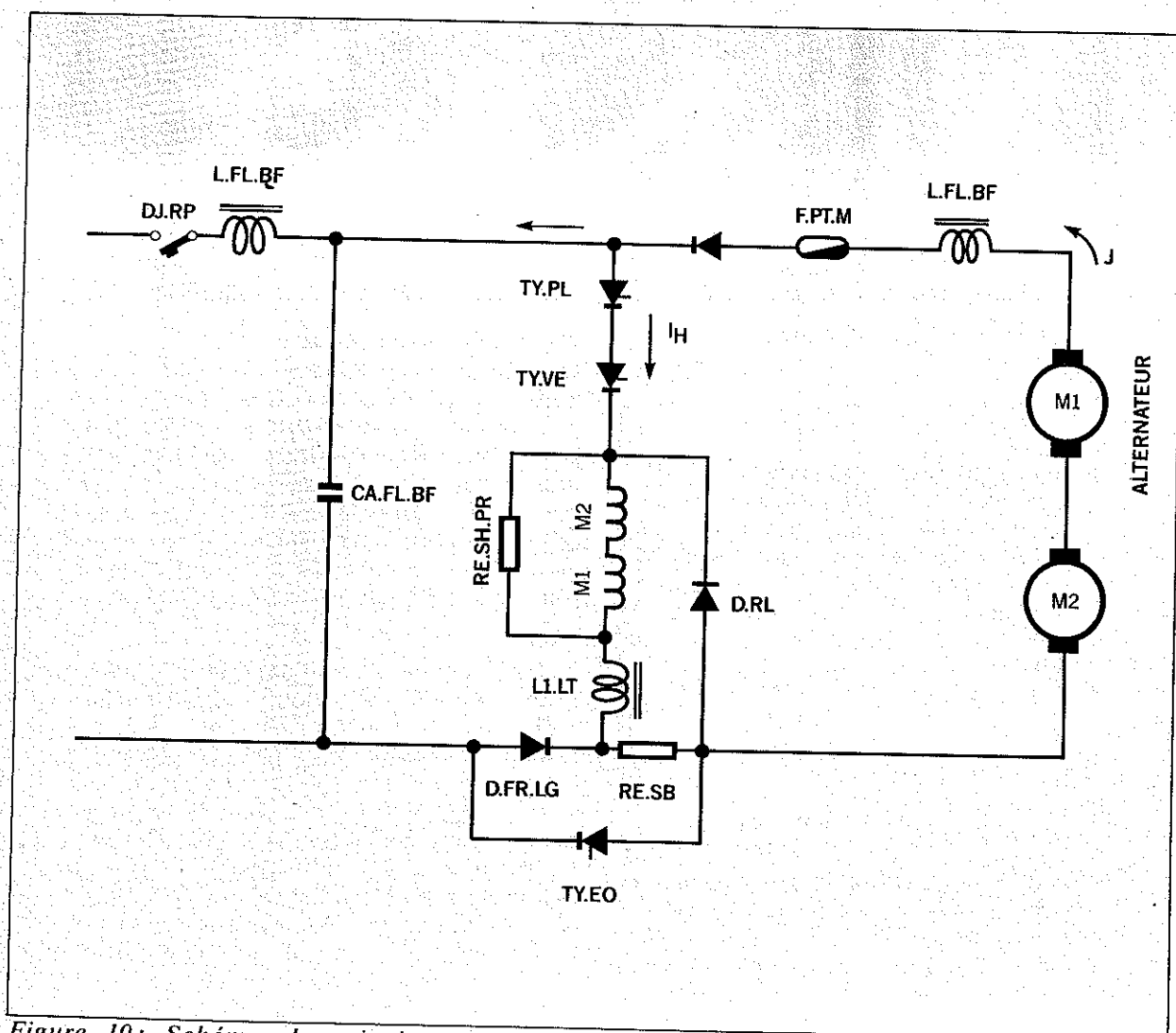


Figure 19: Schéma de principe en mode FREINAGE.



Figure 20: VAL de LILLE: Un élément s'engage sur un tronçon de voie au droit d'un détecteur de présence du train.

sont dites auxiliaires. On peut les classer en :

- ☐ Génération ou conversion de l'énergie,
- ☐ Confort,
- ☐ Conduite,
- ☐ Divers.

#### Génération ou conversion de l'énergie :

La seule énergie pénétrant dans le véhicule est l'énergie électrique sous forme d'une tension continue 750 V. Cette forme d'énergie est relativement peu maniable ; il faut soit la convertir soit créer d'autres énergies plus adaptées.

#### Le pneumatique :

Traditionnel sur les métros, il est utilisé sur le VAL pour :

- ☐ la suspension,
- ☐ les portes,
- ☐ le frein,
- ☐ la commande d'attelage.

La pression pneumatique (9 bars) est obtenue au moyen d'un compresseur à pistons entraîné par un moteur à courant continu 750 V. Elle est gérée et distribuée par un système relativement complexe mais classique de réservoirs, conduite, détendeurs etc.

Le compresseur étant unique, il faut assurer une autonomie minimale du véhicule en cas de défaillance ;

c'est le rôle des réservoirs accumulateurs.

#### L'électrique basse tension :

Sur les véhicules de transport, l'électricité est toujours présente sous forme d'au moins une tension plus maniable que la tension principale. A la différence des tensions principales relativement bien normalisées, les tensions secondaires sont extrêmement variables. Pour des raisons évidentes de simplicité, les concepteurs du VAL ont tenu à n'utiliser qu'une tension secondaire à bord du véhicule, à l'exception bien entendu des cartes électroniques proprement dites.

Ce choix d'une tension unique permet d'adapter une tension continue. On sait qu'un handicap du courant continu est la difficulté de conversion ; dans le cas d'une tension unique, ce handicap disparaît. Par contre cette forme d'énergie se prête parfaitement au stockage dans une batterie. Comme pour le pneumatique, cette autonomie énergétique est fondamentale. Traditionnellement les tensions batteries sont des multiples de 12. Sur le VAL c'est le 72 V qui fut retenu. Comme tout compromis, il présente des avantages et quelques inconvénients, comme par exemple la spécificité des ampoules de phare normalisées en 24 V sur les camions. Rien n'est parfait. Passer de 750 V à 72 V et assurer une isolation galvanique pour des raisons de sécurité, c'est le rôle du conver-

tisseur. Sur le VAL, il sera statique c'est-à-dire ne faisant appel à aucune machine tournante, mais utilisant des semi-conducteurs de puissance et l'inévitable transformateur. Cette voie est relativement audacieuse pour l'époque. Comme pour le hacheur, cependant, elle s'avèrera judicieuse.

Comme pour le hacheur également la ventilation du convertisseur est forcée.

#### Confort :

La fonction Confort comporte :

- Le chauffage (750 V).
- La ventilation (72 V).
- L'éclairage (72 V).

On remarque que ventilation et éclairage sont secourus par la batterie.

#### Conduite :

Le VAL est un métro sans conducteur. Cependant, à tout moment la conduite doit pouvoir être "reprise en manuel". Ceci implique des conséquences non négligeables :

- Deux petits pupitres par élément, couverts en temps normal par des capôts fermés à clefs.
- Des éclairages extérieurs (feux rouges et feux blancs).
- Des essuie glace.

Tout ceci est alimenté en 72 V.

#### Divers :

Dans ce dernier paragraphe rentrent toutes les fonctions de contrôle :

Relayages divers pour les fonctions liées à la caisse.

Alimentations électroniques spéciales pour :

- le hacheur,
- le convertisseur,
- les automatismes embarqués.

Là encore le 72 V est maître.

Les automatismes embarqués, outre la conduite et la sécurité, assurent la communication du train avec l'extérieur :

- ☐ Dialogue train-station (gestion des portes, ordres de départ);
- ☐ Dialogue train - P.C.C. télémessure, télécommande.
- ☐ Liaisons phonie : passagers - P.C.C., conducteur - P.C.C.

On voit immédiatement les nombreux interfaces avec le véhicule et l'importance de l'étude conjointe qui fut à l'époque menée par MATRA, CIMT et TCO.

### L'évolution du VAL :

Quel que soit son avenir, le VAL aura marqué la décennie 75-85 du transport urbain en France. Mieux, malgré un ralentissement certain à l'échelle française et mondiale des projets de transport, ralen-

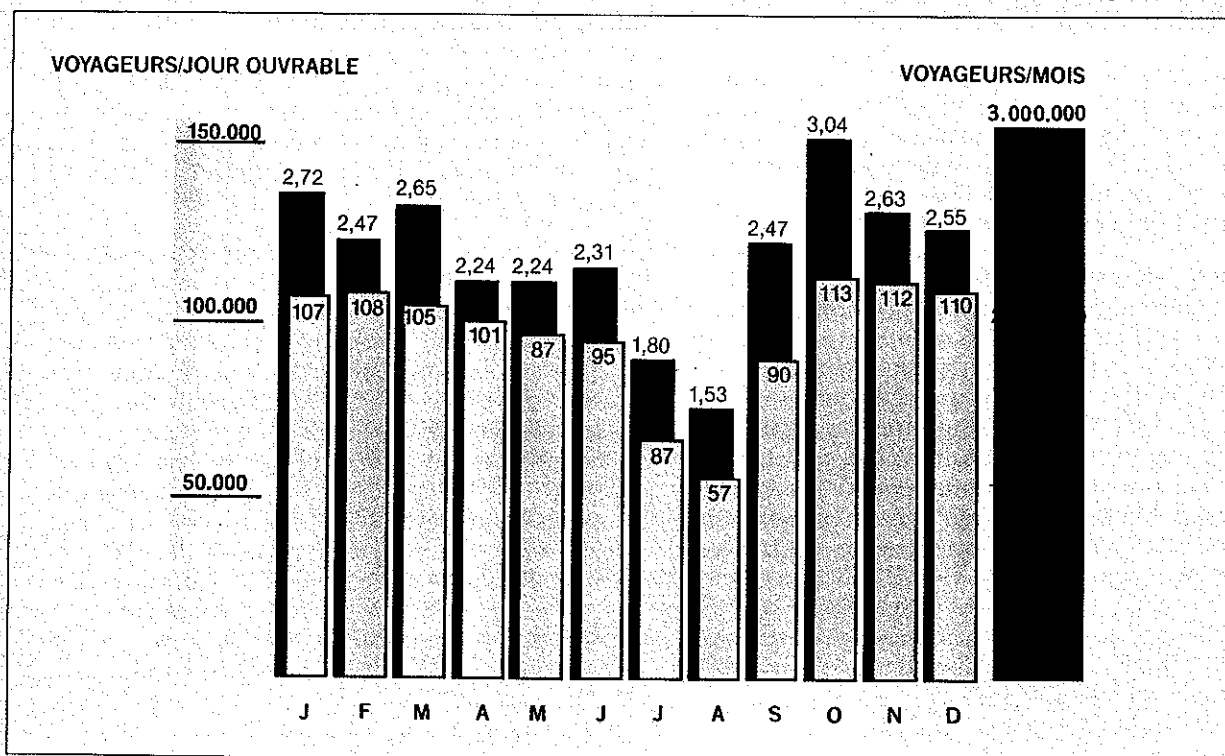


Figure 21: VAL de LILLE: Evolution tout au long de l'année de la fréquentation mensuelle qui atteint 3,04 millions de voyageurs en Octobre.

tissement que l'on peut attribuer en particulier à la baisse du pétrole, en 1987 le VAL se porte plutôt bien.

A la limite des systèmes lourds et légers, il présente tous les avantages des premiers pour un prix d'investissement à peine supérieur à celui des seconds pour peu que l'on accepte de limiter les parties en tunnel au strict nécessaire.

Trois villes françaises à des stades plus ou moins avancés ont fait ce choix. D'autres le feront. En Europe ses concurrents n'ont pas encore fait leurs preuves et le marché Européen devrait s'ouvrir en 1992. Aux Etats-Unis deux points ont été marqués; on y reviendra. Comme tout être en bonne santé, le VAL s'adapte:

### VAL 1bis:

En 1983 Lille fait ses comptes. A peine ouvert, le système risque de saturer dans les années à venir. Il faut augmenter le nombre de véhicules de la ligne 1. De plus, les spécialistes savent bien qu'un système de transport ne prend sa vraie dimension qu'avec sa deuxième ligne. C'est l'effet de maillage. L'étude de la ligne 1bis est lancée. 1bis parce que le numéro 2 est réservé à l'axe tant attendue LILLE-ROUBAIX-TOURCOING. Tous comptes faits ce sont 45 éléments de plus qui sont nécessaires, une commande plus importante que la première et dont plus de 30 éléments sont livrés au moment où nous écrivons cet article.

Alors, identiques aux 38 premiers ces 45 éléments? La raison pousse pour le oui et pourtant la technique évolue chaque jour. En dehors de réajustements de détail, deux décisions majeures sont prises:

- ☐ la commande électrique des portes,
- ☐ l'évolution du hacheur et du convertisseur.

#### Commande électrique des portes:

On a dit que par prudence la technologie retenue pour les portes avait été résolument traditionnelle. Si l'objectif sécurité fut remarquablement atteint, la disponibilité s'avéra moyenne. Ceci est attribuable en grande partie à l'énergie utilisée. Les circuits d'air comprimé, c'est un de leurs avantages, fonctionnent en circuit ouvert. Ils empruntent leur fluide au milieu ambiant. Malheureusement cet air est plus ou moins chargé d'humidité. Au cours des manipulations qu'il subit l'air a tendance à se séparer de son eau. Outre les problèmes de corrosion, le système est donc vulnérable aux rigueurs climatiques car l'eau forme alors des bouchons de glace. Les pays moins favorisés que la France, sur ce point, le savent bien. Beaucoup ont cherché à éliminer l'air comprimé.

La commande électrique des portes ne soulève pas de difficultés particulières. Souplesse et fidélité caractérisent bien les commandes électriques. Quant

à la fiabilité, elle peut être obtenue même sur des systèmes apparemment plus complexes. Dans le système retenu les deux vantaux sont entraînés par une seule vis munie de deux pas inverses et mue par un moteur électrique. Tous les essais menés sur le prototype de même que les premiers mois de service sont très encourageants compte tenu surtout de la rigueur de l'hiver 86-87.

#### Evolution du hacheur et du convertisseur:

Le hacheur et le convertisseur conçus à la fin des années 70 n'ont pas démerités; ils ont même fait preuve d'une fiabilité remarquable. Ils portaient cependant en eux les défauts de leur époque: un rendement encore trop bas entraînant la nécessité d'une ventilation forcée. Améliorer le rendement c'est économiser de l'énergie. Un point de rendement c'est environ 1 000 F par an et par véhicule. Somme dérisoire dira-t-on, oui mais cinq points sur 30 ans et 40 véhicules représentent 6 millions de francs.

Supprimer la ventilation forcée est encore plus intéressant. En effet, il est difficile de réaliser des motoventilateurs de grande qualité dans un marché où le coût d'achat est le critère principal. Malgré les spécifications renforcées, la fiabilité de ces composants reste souvent inférieure au niveau général du véhicule. Or il suffit de la défaillance d'un motoventilateur pour arrêter un train en ligne. Par ailleurs, aucun filtre n'est parfaitement efficace et à la longue les coffres se remplissent inexorablement de poussières plus ou moins conductrices: c'est le risque de court-circuit. Changer les filtres, nettoyer les coffres, sont des tâches particulièrement fastidieuses qui risquent fort d'être négligées. Enfin le problème devient critique si l'on envisage les entrées de neige dans les coffres, les derniers hivers ont montré que les matériels de transport n'étaient pas suffisamment protégés sur ce plan. L'objectif était donc de taille.

Par ailleurs, les nouveaux composants qui permettaient ces améliorations spectaculaires de rendement présentaient d'autres caractéristiques qui autorisaient des simplifications de schéma. Par exemple les thyristors, comme on le sait, sont des interrupteurs statiques. Les thyristors classiques peuvent être allumés par leur gachette mais ils ne s'éteignent que si le courant qui les parcourt est annulé par d'autres moyens. Les thyristors G.T.O. s'allument et s'éteignent par la gachette. De leur côté les transistors accédaient au domaine des milliers de volts et des dizaines d'ampères. Sans rentrer dans le détail, ces nouvelles possibilités, jointes à une réflexion fondamentale sur les schémas, aboutirent à un système de propulsion radicalement différent. Les moteurs ne sont plus à excitation série mais séparée; ce simple fait est une mini-révolution dans le monde de la traction. Les asservissements de champ et de courant principal sont totalement indépendants procurant une grande souplesse de contrôle. Le hacheur n'est plus utilisé dès que la tension moteur devient égale à la tension

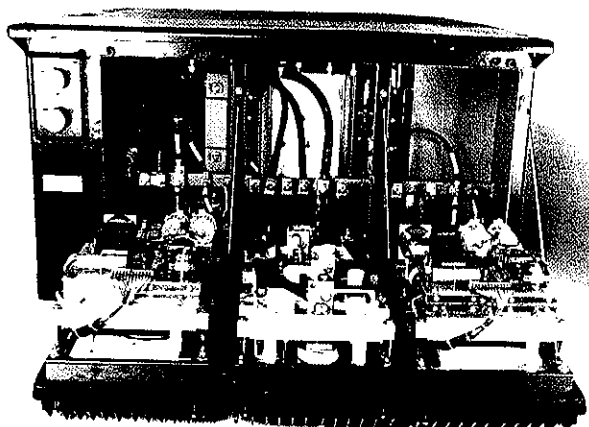


Figure 22: VAL de LILLE: Coffre Hacheur panneaux de refroidissement ouverts.

ligne. Le passage de traction à freinage et le changement de sens de marche se font en inversant le champ. Cette inversion se fait de façon purement statique et en particulier beaucoup plus rapidement. Le freinage électrique est amélioré aux basses vitesses. Toutes ces améliorations se sont largement vérifiées sur les véhicules maintenant en service.

Pour le convertisseur la révolution était moins spectaculaire. Il s'agissait d'ailleurs d'une adaptation à Lille d'un produit déjà éprouvé sur d'autres matériels.

Avec le VAL Ibis, ALSTHOM a montré que, dans le cadre d'un délai court, il était possible de faire évoluer un matériel de façon notable tout en atteignant

dès les premières livraisons un niveau de qualité au moins égal à celui du précédent.

## VAL 256

Le VAL 256 est le matériel qui sera livré aux villes de JACKSONVILLE et CHICAGO à partir de 1988. Si, pour le VAL Ibis, les remaniements avaient surtout porté sur les parties électriques, c'est la caisse qui sera entièrement revue pour le VAL 256 et dans une moindre mesure, le roulement.

Le marché américain est une vieille connaissance pour MATRA et ALSTHOM. Au début des années 80 un concours est lancé par l'administration américaine pour équiper trois grandes villes: LOS ANGELES, DETROIT et MIAMI de "People Movers", une expression consacrée pour désigner les petits systèmes automatiques. Après de nombreux rebondissements MIAMI est attribué à Westinghouse, DETROIT à U.T.D.C. et LOS ANGELES ne se fera pas! Déception mais aussi expérience.

Aussi en 1984 quand CHICAGO annonce son intention d'équiper son aéroport avec un système automatique, MATRA et ALSTHOM sont prêts ou presque. CHICAGO dispute à ATLANTA le titre de premier aéroport mondial. Le système reliera les parkings aux différents terminaux sur une distance de 5 km !. Dix éléments sont prévus, c'est un véritable mini métro. Quand nous disons

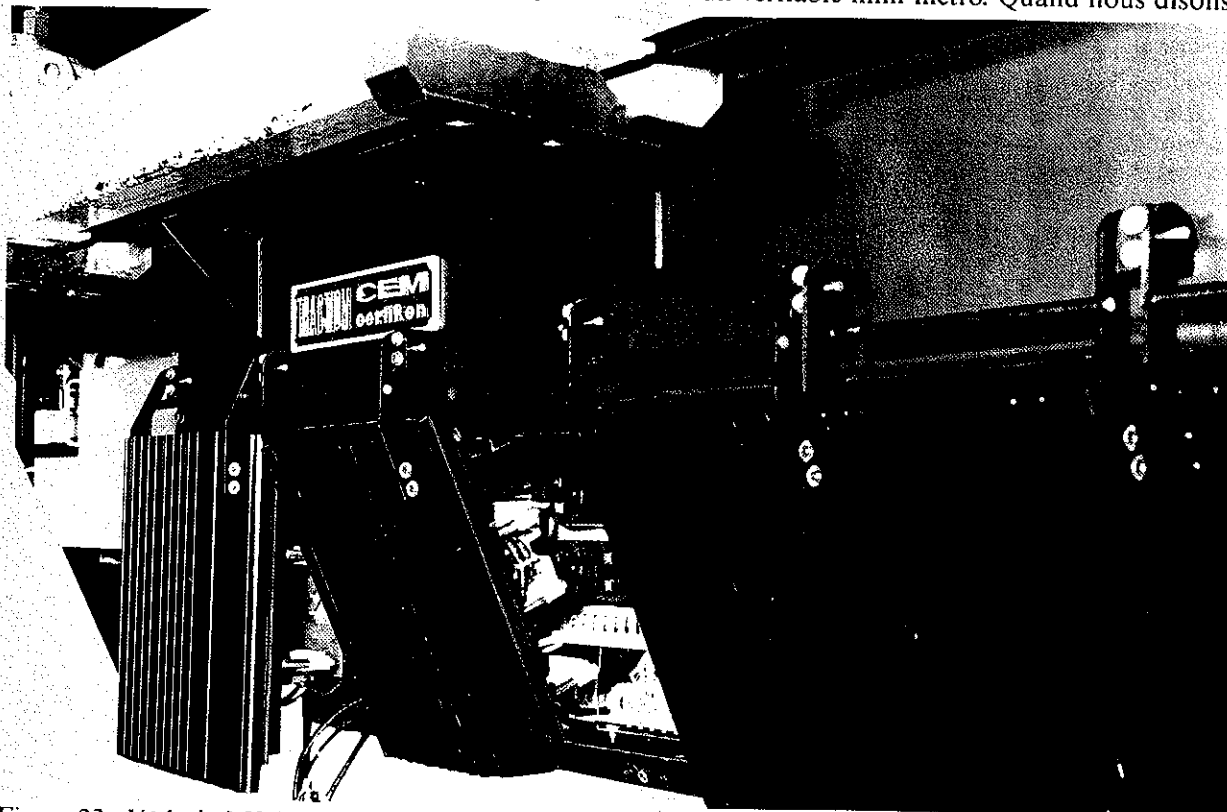


Figure 23: VAL de LILLE: Vue extérieure du coffre électronique à ventilation naturelle.

# UN METRO SANS CONDUCTEUR: LE VAL

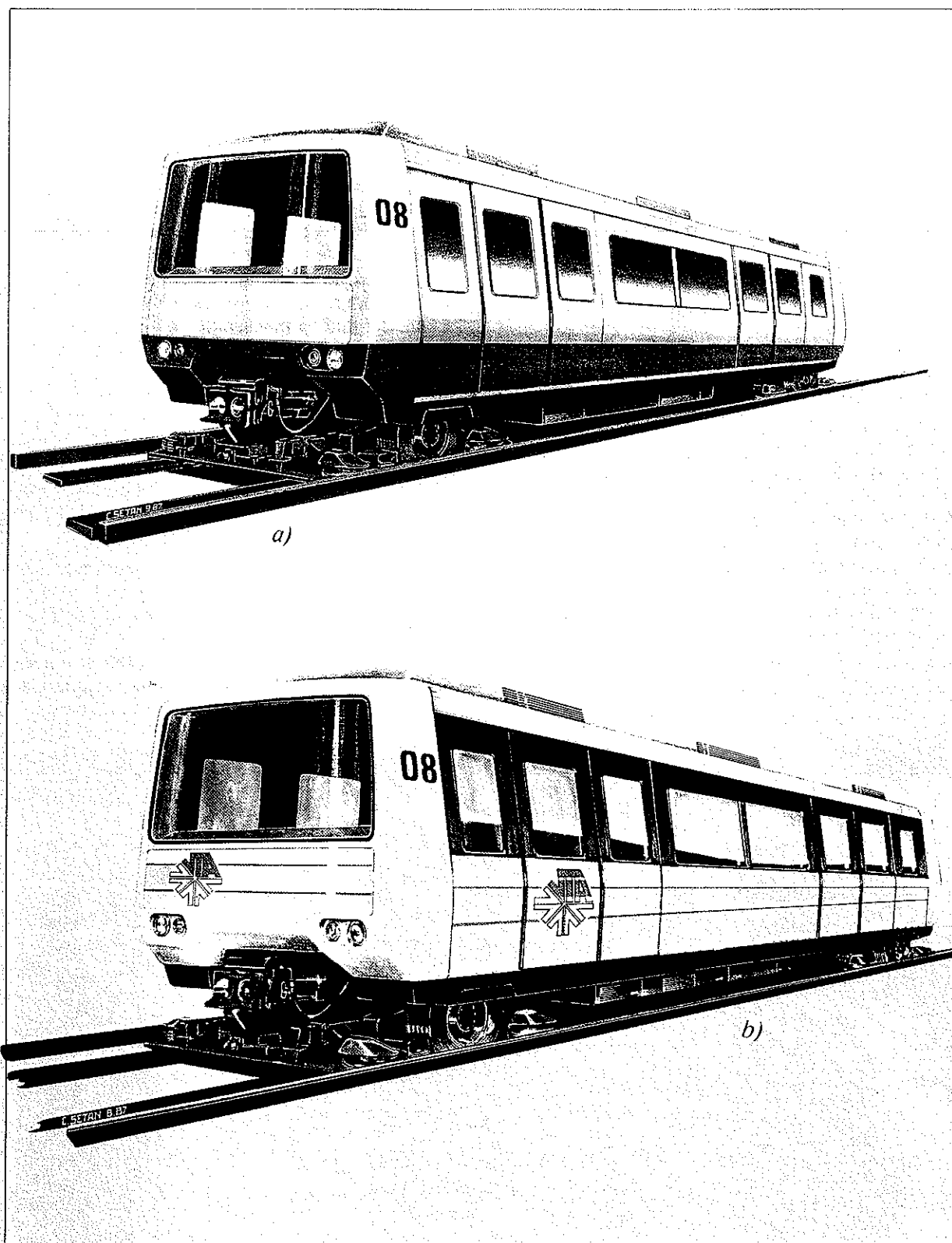


Figure 24:  
a - Maquette du VAL de CHICAGO.  
b - Maquette du VAL de JACSONVILLE.

presque prêts, c'est que MATRA et ALSTHOM savent avec précision que le véhicule de LILLE est inadapté au marché américain. Or CHICAGO demande un véhicule "proven" c'est-à-dire ayant fait ses preuves en service. Les deux principaux handicaps du VAL sont les suivants :

☐ Il n'a pas été conçu pour le climat continental de CHICAGO. Il n'est pas climatisé pour l'été et sa résistance aux hivers durs est médiocre.

☐ Conçu en France, par des Français, pour des Français, il ne répond pas aux fameuses normes américaines, plus efficaces que des barrières douanières.

Par ailleurs, il souffre également de défauts plus graves et malheureusement plus insurmontables que les défauts précédents :

☐ sa configuration, de deux voitures inscindables, est trop lourde pour les faibles trafics américains et alourdit les coûts d'exploitation,

☐ sa largeur est trop faible pour le goût américain. MATRA et ALSTHOM réagissent en deux temps. Tout d'abord ils soumettent une offre avec le véhicule de LILLE climatisé, américanisé pour les normes, winterisé (néologisme créé pour la circonstance). La pièce maîtresse pour la résistance à la neige est le hacheur LILLE Ibis sans ventilation ; malheureusement à cette époque il est encore sur le papier.

Ensuite ils mettent en étude un véhicule entièrement nouveau. Ce véhicule sera :

☐ plus large,  
☐ autonome au niveau de la voiture et non plus de deux. Les Américains disent single.

Le choix de la nouvelle largeur n'est pas évident. Augmenter la largeur veut dire augmenter la masse ou réduire la longueur. Différentes raisons s'opposent à cette dernière solution. Mais augmenter la masse se heurte à la capacité du pneu. Le fournisseur a dans ses cartons un pneu à 7 tonnes au lieu de 6. Les devis de masse se succèdent. Mais il faut tenir compte des impératifs commerciaux. Ce sera l'argument "proven" qui tranchera. A ce titre on choisit finalement le gabarit des plus récentes voitures parisiennes, le "Métro blanc", MF 77. Au point le plus large, portes comprises, la cote est de 2,56 mètres. La rime avec 206 est décisive :

le VAL américain sera le VAL 256. Mais concevoir un single n'est pas simple : il faut concentrer sur une seule voiture tous les équipements qui à LILLE se répartissaient sur deux, en supprimant, il est vrai, un hacheur sur deux, mais en rajoutant une climatisation. Dès le début, il est clair que l'on ne pourra loger les gros réservoirs pneumatiques. Heureusement sur LILLE Ibis on prépare des portes électriques. Pour la suspension on peut rouler sans air.

Reste le frein. On adoptera l'énergie hydraulique qui a déjà ses références sur le marché américain mais c'est un développement entièrement nouveau.

Sur ces entrefaites, la ville de JACKSONVILLE lance son appel d'offre qui d'entrée imposera le véhicule single. En Juillet 85, on choisit deux portes larges de 2 100 mm au lieu de trois de 1 300 mm. L'argument est que les portes larges sont plus adaptées aux voyageurs encombrés de valises des aéroports. En fait, en transport comme ailleurs on ne discute pas des goûts et des couleurs. Cela aussi c'est l'expérience américaine. Août 85, CHICAGO accepte le single.

Septembre 85, JACKSONVILLE demande à doubler la climatisation. Mais les grandes lignes des véhicules sont enfin figées ; on peut commencer les études de détail. Ce n'est pourtant respectivement qu'en mai 86 pour JACKSONVILLE et septembre 86 pour CHICAGO que la bataille sera définitivement gagnée.

	VAL 206 TYPE LILLE Ibis	VAL 256 TYPE US
Nbre de voitures/élément	2	1
Poids à vide (kg)	31000	18600
Capacité passagers/ élément	208	146
Longueur élément (m)	26,14	13,80
Largeur maximale (m)	2,06	2,56
Hauteur hors tout (m)	3,25	3,53
Portes/voiture/face Nbre	3	2
Largeur (m)	1,30	2,13
Hauteur (m)	1,90	1,93
Propulsion		
Nbre moteur/voiture	2	2
Puissance en service continu (kw)		
unitaire	151	151
par élément	604	302
Rapport de réduction	8,60/8,75	9,08
Freinage électrique conjugué avec freinage à friction actionné par système	pneumatique	hydrau- lique
Performances		
Accélération - décélération maximale de service (m/s <sup>2</sup> )	1,3	1,3
Vitesse maximum (km/h)	80	80
Vitesse commerciale (km/h)	35	35
Ventilation	forcée naturelle	air condi- tionné
Normes	Française	US standards

Roulement sur pneus sur pistes en béton  
Guidage par roues pneus sur pistes latérales  
Fourniture d'énergie : 750 V continu par rail conducteur

Figure 25 : Tableau comparatif des caractéristiques du VAL de LILLE Ibis (VAL 206) et du VAL type US (VAL 256).

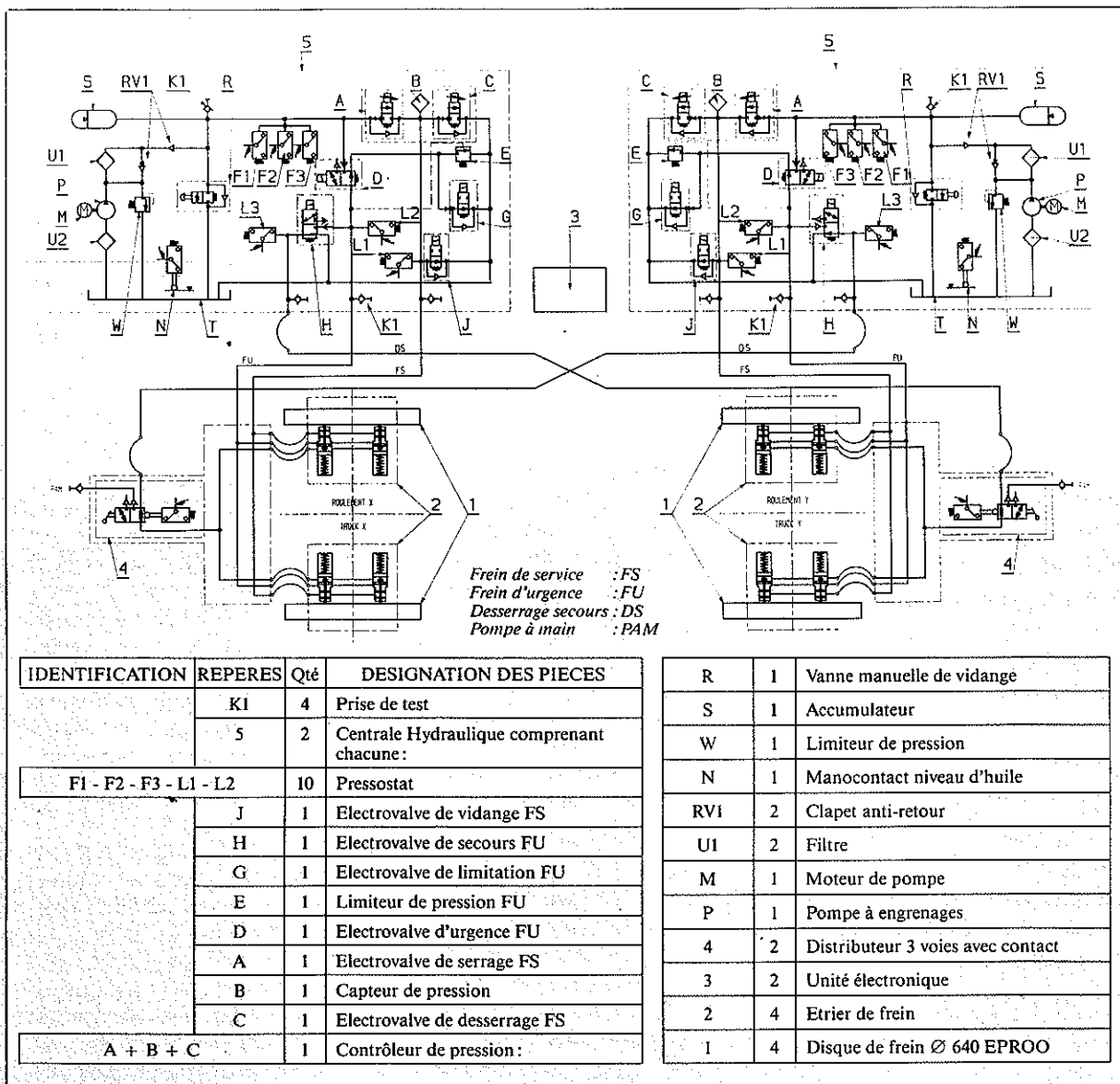


Figure 26: VAL 256: Schéma de la centrale de frein hydraulique.

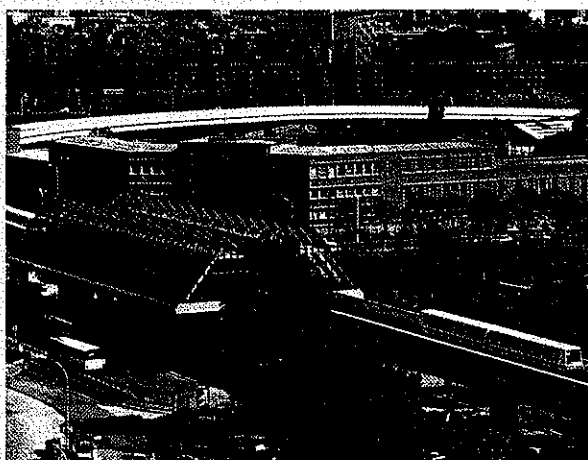


Figure 27: VAL: Métro sans conducteur évoluant en zone urbaine.

## Conclusion:

Le VAL a lancé en France le concept du métro sans conducteur. On peut dire que ce concept est maintenant si bien répandu que tout décideur d'un système nouveau de transport, même lourd, devra se poser cette question: automatique ou non?

Les systèmes existants y pensent également.

Pour le véhicule, dès le début les concepteurs ont su marier techniques éprouvées et audaces raisonnables. Ils ont su également sans changer les principes, apporter les mises à jour nécessaires.

Paire étroite pour l'Europe, single large pour l'export, les VAL 206 et 256 couvrent le marché. Laissons certains rêver à un single étroit: il se fera le jour venu. Telle qu'elle est, la famille VAL vit et vit bien! ■