

Les Cahiers Scientifiques du Transport  
pp. 65-76 N° 26/1992

*Guillaume USTER,  
Francis KUHN, Pierre MARX  
Intérêt et faisabilité du mode d'exploitation  
en voie unique  
pour des systèmes de transport  
en site propre dans les villes moyennes*

## **Intérêt et faisabilité du mode d'exploitation en voie unique pour des systèmes de transport en site propre dans les villes moyennes**

**Guillaume USTER, Francis KUHN, Pierre MARX**

**INRETS - CRESTA Villeneuve d'Ascq - France**

**METRAM Villeurbanne - France**

### **INTRODUCTION**

Les métros conventionnels ne sont pas bien adaptés à la desserte des villes moyennes et de la périphérie des très grandes villes, sites qui peuvent se satisfaire de systèmes de transport plus légers et d'une moindre capacité. Dans la panoplie des systèmes légers figure le métro à voie unique qui, par rapport à d'autres modes tels que le tramway ou l'autobus, présente l'avantage de pouvoir être construit et exploité en site propre intégral.

A la demande du SERT (Service des Etudes, de la Recherche et de la Technologie du Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et de l'Espace), l'INRETS-CRESTA (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité) et la METRAM (Société d'Ingénierie des Transports Urbains de Lyon) ont mené une étude appelée VULCAIN (Voie Unique pour Ligne Complémentaire à Automatisation INTégral).

Cette communication, qui se situe dans le cadre de cette étude, présente toutes les implications d'une telle ligne en matière de coûts d'infrastructure et de coûts "système", et aborde également les problèmes d'exploitation. Ainsi, elle évoque des solutions de modes dégradés qui permettraient d'assurer la continuité de l'exploitation en cas d'incidents importants bloquant la voie.

### **1. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES SYSTEMES DE TRANSPORT UTILISANT DE LA VOIE UNIQUE**

Cette étude bibliographique, qui a pour but la recherche, dans le monde, des systèmes de transport automatiques ou en conduite manuelle, circulant sur une voie unique partielle ou intégrale, ne tient pas compte des liaisons interurbaines de type SNCF.

Afin de mieux cibler les capacités et les fréquences de tels systèmes, nous avons réalisé des regroupements suivant leurs spécificités : systèmes automatiques ou en conduite manuelle, systèmes circulant en boucle (dont le monorail), systèmes exploités en navette, systèmes comportant des portions de voie unique.

Le tableau ci-après présente la synthèse de cette recherche bibliographique, qui ne se veut pas exhaustive.

TYPE	AUTOMATIQUE			MANUEL		
	Nbre	Implantation	Longueur	Nbre	Implantation	Longueur
Boucle	5	Parc loisirs	1,4 à 22 km	2	Milieu Urbain	
	2	Aéroport	1,1 à 1,8 km			
	3	Milieu Urbain	3,2 à 4,6 km			
Navette	2	Aéroport	0,6 à 2,2 km			
	8	Milieu Urbain	0,3 à 4,5 km			
Portion de voie unique	1	Milieu Urbain	3,5 / 6,4km (boucle)	5	Milieu Urbain	(les 5 réseaux totalisent 197 km dont 35 % de voie unique en moyenne )
	1	Milieu Urbain	2,5 / 15 km (extrémités)			
Voie unique intégrale	1	Aéroport	20,9 km	5	Milieu Urbain	2,9 à 8 km

(Nota: X km de voie unique / Y longueur totale des lignes ou des réseaux)

Ainsi, trente cinq systèmes ont été répertoriés dans le monde, ils totalisent 85 kilomètres de voie unique sur une longueur totale de lignes de 100 kilomètres en exploitation automatique (soit 85%) et 96 kilomètres de voie unique sur une longueur totale de lignes de 224 kilomètres en mode manuel (soit 42%).

Ces chiffres font apparaître que beaucoup de petits systèmes automatiques font appel à la voie unique. Les systèmes exploités en mode manuel et utilisant la voie unique sont relativement peu nombreux et sont pour la grande majorité des tramways.

La voie unique est globalement assez peu utilisée dans les systèmes de transport urbain, mais plus usitée dans certains sites particuliers tels que les aéroports et les parcs de loisirs.

## 2. LES ASPECTS "SYSTEME" D'UNE LIGNE A VOIE UNIQUE

### 2.1. Présentation générale

Le système à voie unique, que nous appellerons système VULCAIN, est un moyen de transport en commun en site propre à conduite automatique intégrale ou avec un conducteur assurant un service omnibus. Sa particularité est donc de fonctionner en voie unique avec le croisement des rames en stations.

Il doit permettre d'écouler en charge normale des trafics de 2000 à 8000 passagers par heure et par sens. Le fonctionnement en voie unique consiste à faire rouler les véhicules dans les deux sens sur une seule voie, le croisement étant réalisé au droit des stations par dédoublement de la voie. Un tel fonctionnement nécessite deux appareils de voie situés de part et d'autre de la station permettant le branchement de la voie double à la voie unique.

## 2.2. L'exploitation

Pour réaliser ce croisement en station, les rames doivent être parfaitement synchronisées. Mais comme les stations ne sont pas équidistantes, les temps de parcours des interstations sont différents. Ainsi, le cycle de fonctionnement du système à voie unique est fixé par le temps de parcours de l'interstation la plus longue.

Comme le fonctionnement de la voie unique repose sur le croisement des rames en station, à un instant donné toutes les rames se trouvent en interstation. C'est pourquoi, le nombre maximum de rames supportées par une ligne à voie unique est égal au nombre d'interstations.

Le cycle étant fixé par l'interstation la plus longue et la capacité maximale par le nombre d'interstations, VULCAIN est donc un système de transport dont le plus petit intervalle entre rames est imposé par le tracé de la ligne. Le nombre de stations et la distance entre les stations imposent donc, de manière immuable, la meilleure fréquence.

Par contre, pour faire face à l'augmentation de trafic à long terme, une exploitation en rames doubles ou avec des trains de longueur variable est envisageable. Dans cette étude, le dimensionnement de l'infrastructure des stations tient compte de cette évolution.

Le schéma "Exemple de fonctionnement d'une ligne à voie unique" en annexe va permettre de mieux cerner le fonctionnement d'une ligne à voie unique. Il s'agit d'une ligne VULCAIN idéale à stations équidistantes et à temps d'arrêt en station égaux.

En conséquence, les rames quittent les stations et y arrivent avec une parfaite synchronisation. Ainsi, ce schéma permet de percevoir, de manière intuitive, le cycle de fonctionnement d'un système à voie unique.

En heures creuses, le nombre de rames peut être inférieur au nombre d'interstations, ce qui aura pour effet d'augmenter l'intervalle par multiple de cycles. Cependant, dans certaines configurations, le système ne peut pas proposer aux utilisateurs des intervalles réguliers. C'est pourquoi, il paraît intéressant de mettre en oeuvre une signalétique voyageur qui puisse comporter l'heure d'arrivée ou le temps d'attente pour la prochaine rame.

## 2.3. Politique de régulation de trafic adaptative à autorisation d'itinéraire

Pour fonctionner en mode nominal avec un débit maximal (autant de rames que d'interstations), le système VULCAIN doit tourner de façon synchrone pour assurer le croisement des rames en station, tout en tenant compte des temps différents de parcours des interstations.

La politique de régulation envisagée repose sur une idée simple : autoriser une rame à partir dès que l'interstation aval est libre et que son temps d'arrêt en station est écoulé. Comme la rame part de la station dès que son itinéraire est disponible, cette politique est dite "adaptative à autorisation d'itinéraire".

Or, les stations ne sont pas équidistantes, les temps de parcours des interstations et les temps d'arrêt en station sont différents, et un écart trop important entre ces différents temps provoquerait des temps d'attente trop élevés.

C'est pourquoi cette régulation impose globalement une homogénéisation des temps d'arrêt en station et des temps de parcours d'interstation. Il en résulte qu'il faut, soit augmenter les temps d'arrêt en station, soit ralentir les rames dans les interstations de faible longueur. La première solution risque de donner la sensation aux voyageurs qu'ils sont plus souvent à l'arrêt qu'en marche. La deuxième solution présente l'inconvénient d'avoir un système qui avance lentement sur des interstations courtes. La solution optimale consiste à moduler à la fois les temps d'arrêt en station et les vitesses en interstation.

Pour faire face à des perturbations de faible amplitude, le système de régulation doit permettre un retour rapide du mode dégradé au mode nominal. En tenant à jour des tables d'horaires théoriques de passage des rames en station, le système de régulation de trafic doit calculer un horaire théorique de passage des prochaines rames afin d'examiner les potentialités de conflit, dans le cas où deux rames sont amenées à s'y croiser. Pour cela, cette fonction utilise les degrés de liberté d'exploitation (consigne de vitesse par interstation et durée des arrêts en station) pour recalculer dynamiquement l'horaire réel des rames sur l'horaire théorique. Ce calcul doit être réalisé pour au moins chacune des stations où se focalise le conflit, voire pour la totalité des stations.

## 2.4. Les modes dégradés

Dans le cas où l'incident ne peut pas être résolu dans un laps de temps acceptable pour l'exploitation, il a été imaginé un certain nombre de modes dégradés dont la mise en oeuvre permettrait d'assurer la continuité du service sur des portions de la ligne ou sur sa totalité.

### 2.4.1. Indisponibilité d'un quai

L'indisponibilité d'un quai peut être due à une rame en panne, à une défaillance d'un appareil de voie bloqué dans une position ou même à une rame garée intentionnellement. En effet, il pourrait être imaginé qu'en heure creuse, des rames soient garées en station pour permettre une reprise rapide de la cadence maximale au moment des heures de pointe. Cette solution pourrait être applicable en station à l'aide d'une signalétique voyageur rigoureuse.

Ainsi, dans le cas de l'indisponibilité d'un quai, plusieurs solutions sont envisageables pour assurer la continuité de l'exploitation :

- \* Toutes les rames parcourent l'intégralité de la ligne avec l'utilisation d'un quai dans les deux sens de marche, ce qui équivaut à une interstation double et engendre un intervalle plus important.

- \* Les rames circulent sur chaque portion de ligne située de part et d'autre de la station dont le quai indisponible. Le quai disponible de la station servant alternativement de terminus aux rames venant des deux services partiels.

L'inconvénient de cette solution est la rupture de charge pour les voyageurs allant au delà de la station à quai unique. En effet, ils doivent changer de rame pour continuer leur trajet puisque ce quai est un terminus.

#### 2.4.2. Interstation infranchissable

Une interstation peut devenir infranchissable à cause d'une rame en panne ou d'un problème sur la voie. L'exploitation peut être poursuivie en service partiel de deux demi-lignes, les deux stations menant à la portion de voie infranchissable servant de terminus provisoires. Il est important de remarquer que, contrairement à une ligne "conventionnelle", ce service provisoire pourrait être réalisé en n'importe quel point de la ligne grâce aux appareils de communication de voies présents dans chaque station.

#### **2.5. La disponibilité**

La disponibilité est un facteur essentiel de l'exploitation d'un tel mode de transport. Ainsi, le système doit avoir une solide tolérance aux fautes, la plupart des équipements fixes et embarqués devant être redondancés. Compte tenu de ce qui vient d'être dit, la disponibilité n'est pas un facteur plus critique sur voie unique que sur voie double.

On pourrait penser que la multiplication des appareils de voie pénalise la disponibilité, mais les statistiques relatives aux défaillances de ces appareils montrent que cette crainte n'est pas fondée.

### **3.EVALUATION DES COÛTS DES SYSTEMES TYPE VAL ET TYPE METRO DE LYON LIGNE A OU B ADAPTES A LA VOIE UNIQUE**

Afin de réaliser une étude économique la plus juste possible, nous avons pris comme référence des automatismes existants et éprouvés. Il existe, sans aucun doute, d'autres solutions plus élégantes que celles retenues pour cette étude employant d'autres technologies, mais dont les coûts d'étude et de développement ne pourraient pas être chiffrés.

L'évaluation économique d'un système de gestion de voie unique en automatisme intégral type VAL et en automatisme avec conducteur type Lyon ligne A ou B tient compte des spécificités des automatismes fixes VULCAIN, mais également des équipements de voie, deux postes sur lesquels les écarts entre voie unique et voie double sont significatifs.

Il nous a paru intéressant de mettre en parallèle les solutions type VAL et type Lyon A ou B concernant les coûts des automatismes fixes et des équipements de voie, en prenant comme base une ligne théorique de 10 kilomètres et 18 stations. Mais la comparaison entre les deux solutions n'est pas réalisable, car le découpage des postes automatismes fixes et équipements de voie est spécifique à chaque système et n'inclut pas les mêmes prestations. L'intérêt de cette mise en parallèle est la comparaison entre la voie unique et la voie double pour chaque système.

### \* Automatismes Fixes

	Voie double	VULCAIN
type LYON	82 à 100 MF	121 à 140 MF
type VAL	100 à 110 MF	150 à 160 MF

Les deux solutions présentent un surcoût sur le poste automatismes fixes entre une ligne à voie double et une ligne VULCAIN qui est de l'ordre de 40 à 50 %.

### \* Equipements de voie

	Voie double	VULCAIN
type LYON	159 à 171 MF	109 à 119 MF
type VAL	245 à 255 MF	180 à 190 MF

Les deux solutions présentent une économie sur le poste équipements de voie entre une ligne à voie double et une ligne VULCAIN qui est de l'ordre de 25 à 30 %.

Cependant, l'évaluation réalisée sur l'ensemble du système (à savoir, les équipements de plate-forme et de stations, les automatismes fixes et le PCC, les équipements d'alimentation électrique et de transmission, ainsi que le matériel roulant) montre que les surcoûts dûs aux automatismes fixes plus complexes sont compensés par les économies réalisées sur les équipements de plate-forme.

Compte tenu des fourchettes de prix, le bilan économique vis à vis des systèmes type VAL et type Lyon A ou B semble tendre vers une équivalence de prix entre un système à voie double et un système VULCAIN.

## 4. EVALUATION DES COÛTS DE GENIE CIVIL

### 4.1. Les hypothèses

L'évaluation prend comme base de référence les coûts d'infrastructures voie double / voie unique pour 3 types de matériel M1, M2, M3 de largeur respective: 2 m, 2,50 m et 3 m, et dont la longueur des quais de stations est respectivement 52 m, 28 m et 72 m.

Les méthodes de construction des infrastructures retenues pour notre comparaison sont:

- en souterrain : la tranchée couverte, le tunnel réalisé au tunnelier.
- en aérien : le viaduc.

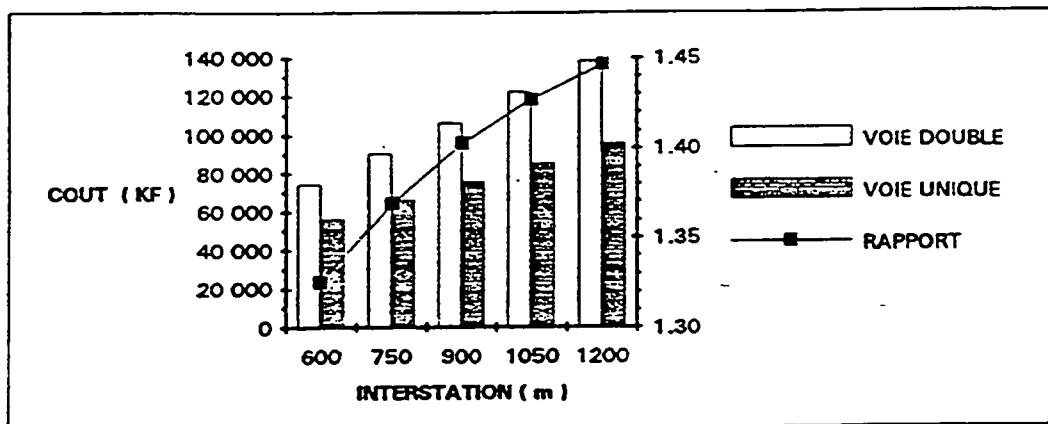
Les coûts de génie civil en tranchée couverte sont étudiés pour les types de terrain les plus fréquemment rencontrés c'est à dire les terrains granulaires avec ou sans eau (cohésion interne = 0 MPa et  $\phi = 30^\circ$ ) et les terrains cohérents avec ou sans eau (cohésion interne = 0,05 MPa et  $\phi = 20^\circ$ ). Avec la méthode au tunnelier nous retenons le terrain granulaire avec eau.

Cependant, dans cette évaluation, il ne faut pas négliger l'importance des coûts d'une station : par exemple, dans le cas d'un ouvrage voie double en tranchée couverte, le coût de la station représente 22,5% du coût d'une interstation de 600 m, mais il n'est plus que 11,2% pour une interstation de 1200m.

#### 4.2. Comparaison voie double / voie unique avec des interstations variant de 600 m à 1200 m.

Après avoir déterminé une coupe type d'une rue pour établir un coût de déviation de réseaux après insertion d'un ouvrage voie double ou voie unique, nous comparons l'interstation voie double + une station avec l'interstation à voie unique + une station dans le cas d'une tranchée couverte, du tunnelier et du viaduc pour le système M1, l'interstation variant de 600 m à 1200 m.

\* *Module voie double station à quais latéraux / module voie unique station à quais latéraux en tranchée couverte dans un terrain granulaire avec eau.*



Source : Etude VULCAIN

Les hypothèses adoptées quant à la profondeur des cadres sont :

- Niveau superficiel : 1,5 m de couverture pour les lignes à voie unique et à voie double.
- Niveau profond : 8 m de couverture pour une ligne à voie double, 5 m pour une ligne à voie unique.

L'économie réalisée par un module à voie unique par rapport à un module à voie double est de 24 % à 30% pour le niveau superficiel et de 33 % à 39 % pour le niveau profond.

L'importante différence d'économie réalisée entre niveaux profond et superficiel s'explique par les hypothèses adoptées. Ces conditions ont été déterminées pour décrire des tracés comprenant des tronçons construits au tunnelier et en tranchée couverte (le niveau profond assure le minimum de couverture pour les tunneliers).

Le rapport voie double / voie unique (échelle de droite sur le schéma) augmente pour des interstations de longueur croissante: l'influence du coût fixe d'une station sur le coût global s'estompe progressivement comme on l'a vu précédemment, mais tend à plafonner pour des interstations plus longues. Toutefois, en site urbain, les longueurs d'interstation doivent être de l'ordre de 600 à 800 m pour drainer le maximum de voyageurs potentiels.

*\* Module voie double station à quai central / module voie unique station à quai central en tranchée couverte.*

En tranchée couverte, l'économie réalisée par un module à voie unique par rapport à un module à voie double est de 17% à 26% pour le niveau superficiel et de 25% à 35% pour le niveau profond.

La diminution de l'économie pour ce module avec station à quai central par rapport au module précédent avec station à quais latéraux s'explique principalement par l'influence du coût des ouvrages de raccordement de part et d'autre de la station.

*\* Module voie double-station à quais latéraux / module voie unique-station à quais latéraux réalisé au tunnelier.*

L'économie réalisée par un module à voie unique par rapport à un module à voie double est de 14% à 19%, elle est faible à cause des importants ouvrages de raccordement au droit des stations.

Le cas du module avec une station à quai central n'est pas retenu car la section d'un tunnel à 2 voies est réalisée avec un tunnelier de gros diamètre, la station est alors à quais latéraux. Dans le cas de la voie unique, les ouvrages de raccordement sont trop importants.

*\* Module voie double-station à quais latéraux / module voie unique-station à quais latéraux réalisé en viaduc.*

L'économie réalisée par un module à voie unique par rapport à un module à voie double se situe entre 21% à 27% selon la longueur du module. Le cas du module avec une station à quai central n'est pas retenu car une ligne à 2 voies est constituée d'un seul tablier large réalisé en continu, la station est alors à quais latéraux.

Ainsi, dans le cas du matériel M1 de largeur 2 m, les économies de construction entre un ouvrage pour voie unique et un ouvrage pour voie double se situent entre:

**17 à 39 %** pour une réalisation en **tranchée couverte** superficielle ou profonde.

**14 à 19 %** pour une réalisation au **tunnelier**.

**21 à 27 %** pour une réalisation en **viaduc**.



## 5. LE CAS D'UNE VILLE FRANÇAISE : LE HAVRE

### 5.1. Présentation de la ligne

Parmi les tracés proposés par huit villes françaises dans le cadre de l'étude VULCAIN, c'est le projet de la ville du Havre, retenu en raison de la possibilité de récupération d'une emprise dans un tunnel existant et de l'utilisation d'un site propre autobus, qui a été étudié de manière approfondie. De plus, ce tracé permet de créer une liaison rapide, ce qui semble indispensable à moyen terme, entre la ville basse où se situent les emplois et la ville haute qui accueille 62% de la population.

Ainsi, la ligne du Havre posséderait 9 stations, elle aurait une longueur de 6230 mètres dont 4130 mètres de voie unique et 2100 mètres de voie double (soit 66 % de voie unique). Elle relierait l'Hôtel de Ville (ville basse) à Mont Gaillard (ville haute) via la Gare et le tunnel Jenner. Il y aurait un évitement (by pass) au niveau du tunnel Jenner permettant de réduire une interstation trop longue.

Le parc de matériel roulant nécessaire à l'exploitation de la ligne a été évalué à 11 véhicules, compte tenu des impératifs d'exploitation et de maintenance.

### 5.2. Etude détaillée par le modèle de simulation des performances de la ligne du Havre (modèle réalisé par J.Rodriguez : INRETS-CRESTA)

La simulation numérique est un outil de modélisation informatique qui permet l'évaluation des performances des systèmes de transports guidés. Il est ainsi possible, par exemple, d'observer l'exploitation des systèmes en mode nominal, de mesurer l'influence des perturbations ou d'optimiser la politique de régulation de trafic.

Le modèle utilisé dans cette étude a été écrit dans un langage informatique appelé Smalltalk qui est du type "langage orienté objets" ou LOO. L'avantage du développement sous l'environnement LOO est la possibilité d'écriture de modules logiciels réutilisables. La programmation en langage informatique "classique" nécessite une réécriture importante de modules dans le cas d'une légère modification du modèle, alors que la programmation par objets permet la création de modules interchangeables.

Afin d'optimiser le flux, les vitesses dans les interstations ont été modulées entre 13 et 20 m/s, ce qui donne des temps de parcours d'interstations compris entre 39 secondes et 60 secondes. Les temps d'arrêt en station ont été également modulés, ils ont été fixés à 15 secondes, sauf pour les stations encadrant l'interstation la plus longue, pour les stations encadrant l'interstation la plus courte et pour les stations encadrant la zone d'évitement.

L'évitement est une station d'un genre particulier puisque le temps d'arrêt y est fixé à zéro seconde, c'est pourquoi nous ne l'avons pas considéré comme une station à part entière et nous avons fait fonctionner le modèle de simulation avec 8 rames, au lieu de 9 rames en suivant la règle : autant de rames que d'interstations.

La simulation a permis d'apporter quelques résultats quantitatifs et qualitatifs qui nous paraissent intéressants dans le cadre de l'étude système.

Le temps de parcours d'un tour complet de la ligne est en moyenne de 20 minutes et 37 secondes, soit une vitesse commerciale de 32,90 km/h. En l'absence de régulation de trafic qui permettrait d'optimiser le flux, l'intervalle moyen évalué par la simulation est de 2 minutes 30 secondes dans 85 % des cas.

La simulation a permis d'attirer notre attention sur un certain nombre de problèmes plus ou moins intuitifs. Ainsi, en cas de perturbation importante sur une ligne à voie unique, comme le retard se répercute sur les autres rames et dans les deux sens de circulation, l'arrêt de l'exploitation sur la ligne doit être immédiat. Dans le cas où le système n'a pas été bloqué, il a été constaté que la répercussion d'un incident se localise au voisinage des stations encadrant l'interstation la plus longue et dans les stations précédant les terminus en voie unique.

Donc, contrairement à un système en voie double type VAL de Lille où il existe une marge de 2 minutes, le système VULCAIN doit être stoppé de suite afin d'éviter un long mode dégradé, voire une situation de blocage.

Le développement de logiciels spécifiques de régulation de trafic étant en dehors du cadre fixé pour cette étude, il ne nous a pas été possible, sans l'aide de cet outil, de réaliser un chiffrage précis de la disponibilité.

Cependant, le modèle de simulation prend en compte la régulation adaptative à autorisation d'itinéraire, mais ne permet pas la modification dynamique des temps de parcours d'interstations ou des temps d'arrêt en station pour compenser des petites perturbations. Malgré cela, le système a montré une capacité d'autorégulation remarquable, au prix parfois de retards importants en station.

### 5.3. Tableau synthétique de l'évaluation des coûts pour le Havre

*Linéaire* 6230 m      *Stations* 9 + 1 évitement

*Parc de véhicules* 11

\* Automatismes de type VAL (en MF valeur 1991)

	VULCAIN	Voie double	Economie
Coût Système	600 à 650	600 à 650	
Coût Infrastructure	470 à 800	550 à 1000	14% à 20%
Coût Total	1070 à 1450	1150 à 1650	7,5% à 14%
Coût d'Exploitation	31,3	31,3	

\* Automatismes de type Lyon A ou B (en MF valeur 1991)

	VULCAIN	Voie double	Economie
Coût Système	450 à 550	450 à 550	
Coût Infrastructure	470 à 800	550 à 1000	14% à 20%
Coût Total	920 à 1350	1000 à 1550	8,7% à 14,8%
Coût d'Exploitation	36	36	

## CONCLUSION

L'étude VULCAIN a permis d'évaluer quelques facettes d'un système de transport en voie unique, mais également de bouleverser un certain nombre d'idées reçues.

Ainsi, les aspects techniques et économiques du génie civil ont été abordés dans un cadre théorique où il est démontré que les gains entre des infrastructures à voie double et à voie unique peuvent aller pour des ouvrages en viaduc ou en tranchée couverte jusqu'à 40 %, mais qu'ils sont plus proches de 15 % pour des ouvrages réalisés au tunnelier.

Les aspects "Système" de VULCAIN ont montré le fonctionnement satisfaisant d'une telle ligne en mode nominal ainsi que les différents modes dégradés envisagés. Il a été prouvé que, contrairement aux idées reçues, une ligne à voie unique apporte une souplesse d'exploitation remarquable grâce aux deux appareils de voie à chaque station, appareils qui permettent de réaliser des services partiels en n'importe quel endroit de la ligne.

Les aspects techniques et économiques ont démontré que, dans les cas de l'automatisme intégral de type VAL ou de l'automatisme avec conducteur type Lyon ligne A ou B, les surcoûts dus aux automatismes, étaient de l'ordre de 40 à 50%. Cependant, compte tenu du linéaire de voie moins important, une ligne VULCAIN possédant 60 à 70% de voie unique, des économies de l'ordre de 25 à 30 % sont réalisées au niveau des équipements de plate-forme. Ainsi globalement, les coûts de la partie "Système" sont équivalents en voie unique et en voie double.

Un avant projet sommaire simplifié d'un système VULCAIN pour le site du Havre avec différentes variantes d'infrastructure a chiffré l'économie entre 7,5 % et 15% par rapport à une ligne en voie double.

Le système à voie unique en site propre à conduite automatique intégrale ou avec un conducteur, répondant aux besoins d'une ville moyenne ou d'une banlieue de grande agglomération, est exploitable dans des conditions satisfaisantes, cependant les économies réalisées en adoptant la voie unique restent modestes dans les cas étudiés.

En définitive, cette étude montre que l'intérêt principal de la voie unique est sa faculté d'insertion, comme par exemple, l'avantage du viaduc qui offre un encombrement visuel réduit, ou bien en centre ville, où la voie double ne pourrait être intégrée sans travaux importants. Il est à noter enfin la récupération d'ouvrages existants comme le tunnel Jenner au Havre ou la plate-forme ferroviaire sur les projets de Valenciennes et de Nancy.

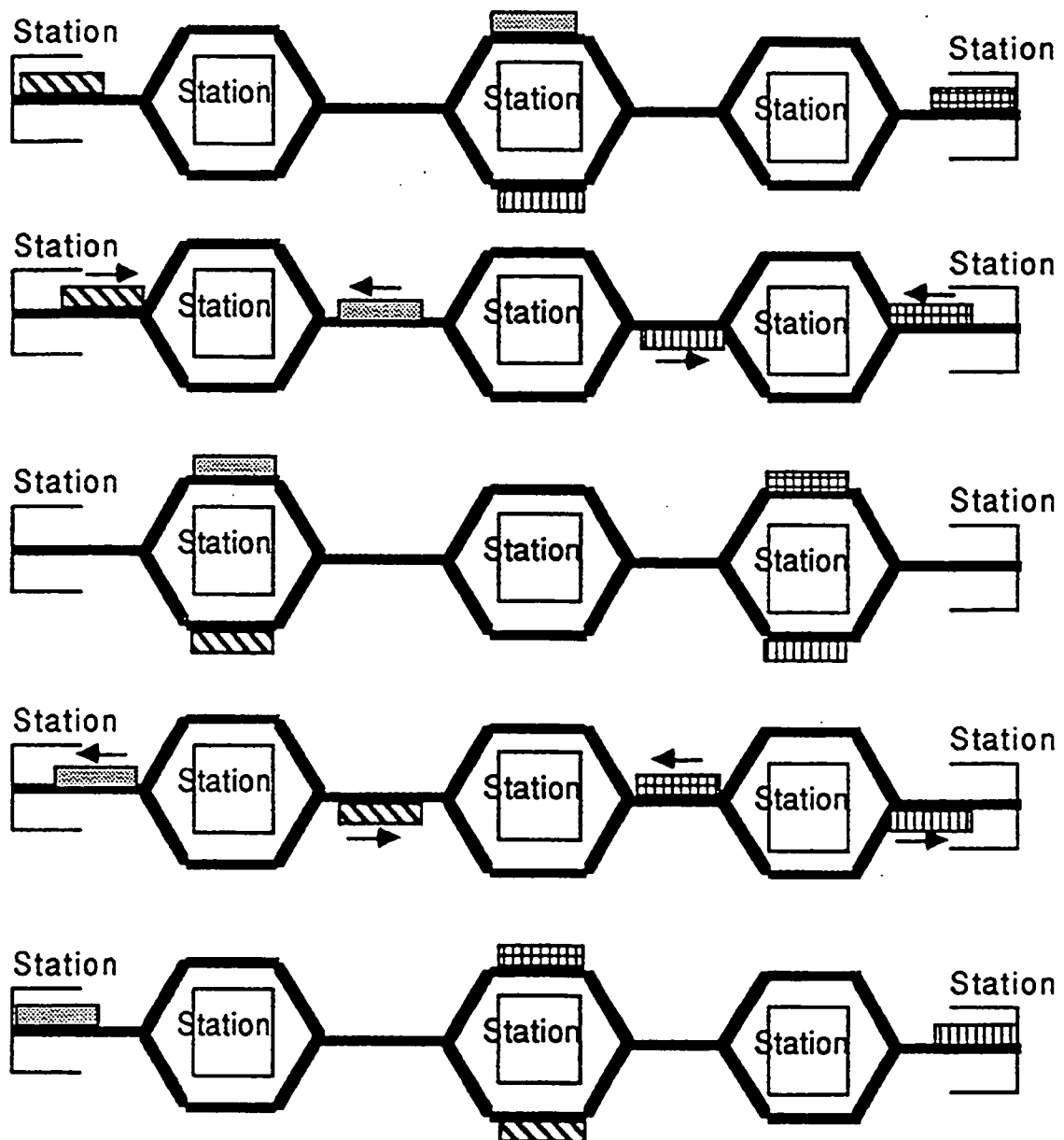
## BIBLIOGRAPHIE

G.Uster, F. Kühn, J. Rodriguez: INRETS-CRESTA, P. Marx, C. Martinet, V. Gascon, A. Brenier, J. Berbudeau: METRAM, B. Constantin: CETU. Voie Unique pour Ligne Complémentaire à Automatisme INTégral "VULCAIN"  
Références INRETS-CRESTA 92-18.

J.P.Godard. Coût des divers types d'infrastructures de transports ferroviaires en zones urbaine et suburbaine. Journées Internationales AFTES: La recherche d'économies dans les travaux en souterrain. Nice: 10-14 mai 1981.

PRDTTT. Comité de thème A: Transport Guidés. Rapport du Groupe Transports Automatisés Légers. Juillet 1989.

## Annexe



*Exemple de fonctionnement d'une ligne à voie unique.*