

# 1. Introduction

L'utilisation croissante de la voiture individuelle pour nos déplacements urbains a pour conséquence la congestion de la circulation dans les centres-villes non seulement en heure de pointe mais encore, pour les agglomérations les plus importantes, sur la plus grande partie de la journée.

Les difficultés de circulation et de stationnement posent des problèmes importants dont les enjeux se mesurent en termes de temps perdu, de coûts d'exploitation, de pollution, de protection de l'environnement, d'économie d'énergie, de qualité de la vie, etc.

La congestion de la circulation perturbe le fonctionnement des véhicules de transport en commun qui empruntent la voirie banalisée en entraînant la baisse de leur vitesse commerciale et le non - respect de leur régularité. Les coûts d'investissement et d'exploitation des flottes d'autobus ont ainsi eu tendance à augmenter - plus de personnel et plus de matériel roulant pour maintenir un même niveau de service - et une moindre qualité du service offert, en termes de régularité et de vitesse, a détourné une part importante de la clientèle de l'usage des transports collectifs vers d'autres modes, dont la voiture individuelle.

De nouvelles tentatives sont faites périodiquement pour sortir du cercle vicieux traditionnel congestion, réalisation de voies nouvelles, augmentation de la circulation, congestion, à l'aide d'une série de mesures dont l'objectif consiste essentiellement à réduire le taux d'utilisation des voitures particulières comme moyen de transport dans le centre des villes (spécialement pour les déplacements domicile - travail), et y substituer des modes plus appropriés du point de vue du taux d'occupation des véhicules .

The increasing use of the individual car for our urban displacements has as a consequence the congestion of circulation in the downtown areas not only in peak hour but still, for the most important agglomerations, greatest part of the day.

The difficulties of circulation and parking pose important problems whose stakes are measured in terms of wasted time, costs of exploitation, pollution, environmental protection, energy, quality saving of the life, etc.

The congestion of circulation disturbs the operation of the joint freight vehicles which borrow the roadway system standardized by involving the fall their block speed and not - respect of their regularity.

And the exploitation capital costs of the fleets of bus thus tended to increase - more personnel and more travelling material to maintain the same level of service - and a less quality of the service offered, in terms of regularity and speed, diverted a significant part of the customers of the use of collective transport towards other modes, of which the individual car.

New attempts are made periodically to leave the traditional vicious circle congestion, realization of new ways, increase in circulation, congestion, using a series of measurements whose objective primarily consists in reducing the utilisation ratio of the private cars like means of transport in the center of the cities (especially for residence displacements - work), and y to substitute more suitable modes from the point of view of the occupancy rate of the vehicles.

Deux groupes d'action peuvent être envisagés :

- Les actions visant directement la restriction de l'emploi des voitures particulières dans le centre des villes comme la limitation de la circulation et / ou la régulation du stationnement des véhicules dans le centre, les parcs de dissuasion, la politique de tarification des routes, etc.
- Les actions d'amélioration des transports en commun de surface.

Ce deuxième groupe d'actions fait l'objet de l'étude qui suit. Étant donné le faible espace utilisé par passager, l'autobus est un moyen privilégié pour donner la priorité aux transports en commun de surface. Il existe deux manières d'améliorer l'autobus sur une grande échelle.

Un premier groupe de mesures aura pour but d'améliorer le niveau de service des autobus : en augmentant le confort, le nombre de véhicule kilomètre et / ou par extension de la zone desservie. Un deuxième groupe comprend les techniques servant à améliorer l'environnement fonctionnel (vitesse, régularité) des transports en commun. Les voies réservées aux autobus représentent l'exemple le plus caractéristique de ce type de mesure.

Pour réaliser les voies réservées, on peut envisager :

- La réalisation d'infrastructures nouvelles de Transport en Commun en Site Propre (T.C.S.P.) qui s'affranchissent de la congestion de la circulation en utilisant des voies qui leur sont spécifiquement réservées,
- La mise en oeuvre d'un partage de la voirie entre les autobus et les véhicules particuliers,

- Two groups of action can be considered: - actions directly aiming the restriction of the use of the private cars in the center of the cities like the limitation of circulation and / or regulation of the parking of the vehicles in the center, the parks of dissuasion, the invoicing policy of the roads, etc.
- improvements of public transport of surface.

This second group of actions is the subject of the study which follows. Being given the weak space used by passenger, the bus is an average privileged person to give the priority to public transport of surface. There are two manners of improving the bus on a great scale. The purpose of a first group of measurements will be to improve the level of service of the buses: by increasing comfort, the number of vehicle measures in kilometres and/or by extension of the served zone. A second group includes/understands the techniques being used to improve the functional environment (speed, regularity) of public transport. The bus lanes represent the example most characteristic of this type of measurement. To carry out the reserved ways, one can plan:

- the realization of new infrastructures of Public transport in Exclusive right of way (T.C.S.P.) who free themselves from the congestion of circulation by using ways which are specifically reserved to them,
- the implementation of a division of the roadway system enters the particular buses and vehicles,
- the application of more specific measures supporting the progression of the freight vehicles public circulating on standardized roadway system.
- the application of more specific measures supporting the progression of the freight vehicles public circulating on standardized roadway system.

- L'application de mesures plus ponctuelles favorisant la progression des véhicules de transport public circulant sur voirie banalisée.

Ces actions peuvent se dérouler suivant un processus progressif pour déboucher sur une réalisation de grande ampleur :

- d'abord, la priorité peut être accordée aux autobus aux carrefours,
- complétée ensuite par la mise en place de tronçons de couloirs réservés dont les emprises seront ultérieurement réutilisées pour l'implantation d'un axe lourd en site propre,

Nous nous proposons dans cette étude, au travers d'exemples de réalisations de décrire les performances de sites propres pour autobus réalisés ces dernières années en France et dans le monde. Chaque exemple est à considérer dans son contexte particulier, mais il permet de préciser, à un moment donné, la nature et le poids des effets à attendre. Les gains en résultant ne sont jamais acquis définitivement, ils peuvent varier dans le temps, aussi des suivis et des analyses périodiques permettent de vérifier leur fonctionnement et éventuellement de mettre au point les adaptations nécessaires.

Les conséquences d'un trafic perturbé sur l'efficacité d'un réseau de transport en commun empruntant la voirie sont assez connues pour qu'il ne soit pas nécessaire de les rappeler ici.

À partir du constat de la dégradation de ses conditions d'exploitation, trois politiques sont possibles:

- abandonner à son sort le transport en commun en limitant les

- These actions can proceed according to a progressive process to lead to a realization of great width:
- initially, the priority can be granted to the buses with the crossroads,
- supplemented then by the installation of sections of reserved corridors whose influences will be re-used later on for the establishment of a heavy axis in exclusive right of way,

We propose in this study, through examples of achievements to describe the performances of exclusive rights of way for produced buses these last years in France and in the world. Each example is to be considered in its particular context, but it makes it possible to specify, at a given moment, the nature and the weight of the effects to wait. The profits while resulting are never acquired definitively, they can vary in time, also periodic follow-ups and analyses make it possible to check their operation and to possibly develop the adaptations necessary.

The consequences of a traffic disturbed on the effectiveness of a joint grid system borrowing the roadway system are rather known so that it is not necessary to point out them here.

Starting from the report of the degradation of its conditions of operating, three policies are possible:

- to give up with its fate public transport by limiting them
- financial consequences which result from it, i.e. by reducing the service - to act overall on the circulation of the private cars to make the traffic about fluid, in particular to limit the possibilities of parking in the center of the cities,
- to try to withdraw the bus from the risks of circulation by allotting to him the privileged

- conséquences financières qui en résultent, c'est-à-dire en réduisant le service

- agir globalement sur la circulation des voitures particulières pour rendre le trafic à peu près fluide, notamment limiter les possibilités de stationnement dans le centre des villes,

- essayer de soustraire l'autobus aux aléas de la circulation en lui attribuant l'utilisation privilégiée d'une partie du domaine circulaire, en lui réservant les voies de circulation.

Dans le cadre de cette dernière politique, de nombreuses solutions sont applicables. La voie peut être réservée exclusivement à l'autobus ou accueillir également les véhicules d'urgence, des voitures de police, des taxis et même des "car pool". La réservation peut être permanente ou limitée à certaines heures ; elle peut être pour un seul sens de circulation, réversible ou non, ou à double sens. Elle peut être matérialisée par de simples plots amovibles, par une signalisation au sol, par des bordurettes ou plots franchissables ou par des séparations physiques infranchissables.

Enfin, elle peut intéresser une fraction plus ou moins longue de ligne concernée, éventuellement toute sa longueur, ou permettre seulement le franchissement d'un secteur difficile de faible dimension.

La terminologie utilisée ne distingue que deux types de solutions : les voies réservées et les sites propres. Encore, la distinction entre les deux types de solutions manque-t-elle de netteté. On désigne par voie réservée les solutions les moins "engagées" : celles qui nécessitent le minimum d'investissement, et sont matérialisées par une simple signalisation au sol ou par des

- use of a part of the circutable field, by reserving the lanes to him.

Within the framework of this last policy, many solutions are applicable. The way can be reserved exclusively for the bus or to also accommodate the emergency vehicles, of the police cars, the taxis and even of the "bus pool".

The reservation can permanent or be limited to certain hours; it can be for only one direction of circulation, reversible or not, or with double direction. It can be materialized by simple removable studs, an indication on the ground, bordurettes or studs passable or by by passable bordurettes or studs or insuperable physical separations. Lastly, it can interest a more or less long fraction of line concerned, possibly all its length, or allow only the crossing of a difficult sector of low dimension.

The terminology used distinguishes only two types of solutions: reserved ways and exclusive rights of way. Still, the distinction the two types of solutions misses enter clearness. One indicates by reserved way the "committed" solutions less: those which require the minimum of investment, and are materialized by a simple indication on the ground or by

séparations franchissables, la réservation de voie étant limitée à certaines heures.

À l'opposé, le terme de site propre est utilisé pour les solutions qui nécessitent des investissements et séparent le plus complètement l'autobus des autres circulations. Dans les cas intermédiaires, la terminologie varie suivant les auteurs et les circonstances.

Nous n'examinons dans cette étude que les dispositions intéressant des tronçons importants de lignes comportant une séparation réelle entre autobus et autres usagers de la voirie et présentant un caractère permanent, c'est-à-dire les solutions qui correspondent à une politique délibérée, concrétisée par des investissements, et n'exigeant pas spécialement de discipline de la part de l'automobiliste dans la mesure où la séparation s'inscrit suffisamment sur le terrain pour être dissuasive par elle-même. Elles sont désignées par le terme d'autobus en site propre.

Si les premières voies réservées sont apparues en France vers 1963-64, les premiers autobus en site propre n'ont été mis en service qu'à la fin de la décennie 60. Ce décalage est tout à fait normal dans la mesure où les voies réservées ont un caractère précaire et révocable.

En 1975, moins d'une dizaine de villes dans le monde disposent d'un site propre pour autobus, en exploitation définitive ou partielle. Quelques autres villes en ont un en cours de réalisation.

En 2002, parmi les réalisations, on peut distinguer trois catégories : les sites propres sur autoroutes, les sites propres indépendants et ceux combinés avec la voirie ordinaire. Ces trois catégories recouvrent sensiblement trois natures de problèmes distincts : celui des villes américaines, celui des villes nouvelles et celui des villes européennes traditionnelles.

passable separations, the reservation of way being limited to certain hours. With the opposite, the term of exclusive right of way is used for the solutions which require investments and the most completely separate bus from other circulations. In the intermediate cases, the terminology varies according to the authors and the circumstances.

We examine in this study only the provisions interesting of the important sections of lines comprising a real separation between bus and other users of the roadway system and presenting a permanent character, i.e. the solutions which correspond to a deliberated policy, concretized by investments, and not requiring in particular a discipline on behalf of the motorist insofar as separation is registered sufficiently on the ground for to be dissuasive by itself. They are indicated by the term of bus in exclusive right of way.

If the first reserved ways appeared in France about 1963-64, the first buses in exclusive right of way were brought into service only at the end of decade 60. This shift is completely normal insofar as the reserved ways are precarious and revocable.

In 1975, less than one ten cities in the world have an exclusive right of way for bus, in final or partial exploitation.

In 2002, among the achievements, one can distinguish three categories: exclusive rights of way on motorways, independent exclusive rights of way and those combined with the ordinary roadway system. These three categories appreciably cover three natures with distinct problems: that of the American cities, that of the new cities and that of the traditional European cities.

## 2. Les performances des autobus en site propre

### 2.1 Les capacités

On estime que sur un site propre intégral et pour une circulation **sans arrêt**, le débit maximum de véhicules devrait être de l'ordre de 700 véhicules par heure et par sens (v/h/s). La circulation en site non protégé implique une baisse très forte des débits envisageables, des vitesses de circulation de l'ordre de 10 km/h aux heures de pointe correspondant plutôt à une capacité de l'ordre de 100 à 150 v/h/s.

Des observations confirment ces différents éléments. Ainsi sur la voie réservée à contresens sur l'autoroute I 495 à New York **sans arrêt**, 597 véhicules par heure et par voie (v/h/v) ont été décomptés et sur voirie traditionnelle des flux maximaux de l'ordre de 175 v/h/v (Michigan Av. à Chicago).

La capacité unitaire des autobus standard étant de 70 places et 160 places sur les autobus articulés les débits de passagers peuvent atteindre de 15000 p/h/v sur la voirie traditionnelle à plus de 25000 p/h/v en site propre intégral **sans arrêt**.

L'autobus peut ainsi, **théoriquement** faire face à la très grande majorité des flux rencontrés dans les agglomérations.

La capacité maximale de transport et le niveau de régularité de passage des véhicules sont très liés, on doit définir ce qui est acceptable en terme de vitesse et de régularité.

Deux cas sont à considérer :

- Si le site propre dispose d'une seule voie par sens, trois niveaux de débit et trois niveaux de service se dégagent :

## 2. Performances of the buses in exclusive right of way

### 2.1 capacities

It is estimated that on an integral exclusive right of way and for a circulation without stop, the maximum capacity of vehicles should be about 700 vehicles per hour and direction (v/h/s). Circulation in site not protected implies a very strong fall of the possible flows, speeds of circulation about 10 km/h at the peak hours corresponding rather to a capacity of about 100 to 150 v/h/s. Observations confirm these various elements. Thus on the way reserved with misinterpretation on the motorway I 495 in New York non-stop, 597 vehicles per hour and way (v/h/v) were deducted and on traditional roadway system of maximum flows of about 175 v/h/v (Michigan AV in Chicago). The unit capacity of the standard buses being of 70 places and 160 places on the articulated buses the flows of passengers can reach of 15000 p/h/v on the roadway system traditional with more than 25000 p/h/v in integral exclusive right of way without stop. The bus thus can, theoretically to face the very large majority of the flows met in the agglomerations. The maximum capacity of transport and the level of regularity of passage of the vehicles are very dependent, one must define what is acceptable in term speed and regularity. Two cases are to be considered:

- If the exclusive right of way has only one way per direction, three levels of flow and three levels of service emerge:

Avec un débit inférieur à 30 v/h/s le franchissement des carrefours peut se faire avec priorité par la commande des feux : régularité et vitesse sont maximales ;

- Avec un débit compris entre 30 et 60 v/h/s : le fonctionnement des feux de circulation ne peut plus accorder la priorité à tous les véhicules car la capacité des voies transversales serait trop réduite mais les autobus bénéficient encore du gain de régularité offert par la voie réservée ;
- avec un débit compris entre 60 et 120 v/h/s, la formation de queue est inéluctable; il faut prévoir plusieurs places de stationnement aux stations; les arrêts aux carrefours et la gêne mutuelle des autobus entraînent une baisse de la vitesse et de la régularité : au-delà de 120 v/h/s, les avantages du site propre sont très diminués;
- Si le site propre dispose de deux voies de circulation par sens (e. g. Transmilenio de Bogota), ou à défaut de stations en évitement avec pistes d'accès et de dégagement et présentant un nombre suffisant de places d'arrêt, on peut atteindre des capacité très supérieures jusqu'à 300 v/h/s (e. g. sites propres de São Paulo).

With a flow lower than 30 v/h/s the crossing of the crossroads can be done with priority by the traffic signal control: regularity and speed are maximum;

- With a flow ranging between 30 and 60 v/h/s: the operation of fires of circulation cannot give the priority any more to all the vehicles because the capacity of the transverse ways would be too reduced but the buses still profit from the profit of regularity offered by the reserved way;
- with a flow ranging between 60 and 120 v/h/s, the formation of tail is inescapable; it is necessary to envisage several parking bays at the stations; the stops with the crossroads and the mutual embarrassment of the buses involve a fall speed and regularity: beyond 120 v/h/s, the advantages of the exclusive right of way are very decreased;
- If the exclusive right of way has two lanes per direction (E G Transmilenio of Bogota), or in the absence of stations out of avoidance with tracks of access and release and presenting a sufficient number of places of stop, one can reach capacity much higher up to 300 v/h/s (e.g. busways of São Paulo).

Le tableau ci-après indique les capacités horaires théoriques par sens d'un site propre exploité avec des autobus standard, articulés et des mégabus (type Bordeaux et Curitiba). Les capacités indiquées ci-dessous représentent des limites physiques qui ne répondent pas toujours à l'optimum économique et sont donc alors irréalistes.

## **2.2 Les vitesses**

### **2.2.1 La régularité**

Le site propre pour autobus, assorti de priorités aux carrefours, augmente les performances de ce mode de transport dans des proportions importantes. La vitesse commerciale ne dépend plus que des caractéristiques d'exploitation : distance entre stations, durée des arrêts, performance du matériel roulant. La régularité est comparable à celle des autres modes de transport en site propre.

### **2.2.2 La vitesse commerciale**

L'augmentation de la vitesse commerciale pour une ligne donnée s'obtient par une diminution soit du temps de parcours soit du temps d'arrêt en station soit des deux. Cette augmentation permet d'améliorer le coût d'exploitation et les temps de voyage qui se répercutent sur le parc de matériel roulant nécessaire et sur la qualité de service offerte aux usagers.

La figure 1 ci-dessous rappelle quelques vitesses commerciales théoriques en fonction de la longueur d'inter-station et du temps d'arrêt en station pour des véhicules dont la vitesse de consigne maximale est de 85 km/h avec une accélération de 1,2 m/s<sup>2</sup>. Il apparaît à la lecture de ces courbes que l'on doit limiter les temps de montée-descente dans les véhicules autour de 20 secondes et avoir des inter-stations supérieures à 300 m pour avoir des vitesses moyenne d'exploitation théoriques supérieures à 20 km/h.

The table hereafter indicates the theoretical time capacities by direction of an exclusive right of way exploited with standard, articulated buses and mégabus (standard Bordeaux and Curitiba). The capacities indicated below represent physical limits which always do not answer the economic optimum and are thus then unrealistic.

## **2.2 Speeds**

### **2.2.1 regularity**

The exclusive right of way for bus, together with priorities with the crossroads, increases the performances of this means of transport in important proportions. The block speed does not depend any more but on the characteristics of exploitation: outdistance between stations, duration of the stops, performance of the travelling material. The regularity is comparable with that of the other means of transport in exclusive right of way.

### **2.2.2 Commercial speed**

The increase block speed for a given line is obtained by a reduction either in the time of course or of the downtime in station or of both. This increase makes it possible to improve the cost of exploitation and times of voyage which are reflected on the field-installed machines rolling necessary and on the quality of service offered to the users. Figure 1 below points out some theoretical block speeds according to the length of inter-station and the downtime in station for vehicles of which the speed of maximum instruction is of 85 km/h with an acceleration of 1,2 m/s<sup>2</sup>. It appears with the reading of these curves that one must limit times of rise-descent in the vehicles around 20



La vitesse d'exploitation et la fiabilité des autobus en site propre sont les caractéristiques primordiales du système : ces paramètres peuvent être améliorés en réduisant ou en éliminant les différents types de retard. Le temps de montée peut être réduit en améliorant le procédé de collecte de la recette, grâce au prépaiement du billet, des distributeurs de billets en self-service, un usage plus important de cartes pass, de cartes intelligentes, etc. et en facilitant l'accès aux véhicules en proposant des planchers au même niveau que les quais des stations.

Les retards peuvent être réduits en augmentant les intervalles entre arrêts et donc en diminuant le nombre d'arrêts. Il y a un compromis à trouver entre une meilleure desserte et une exploitation optimisée.

La réduction du temps de montée en station peut être obtenue en améliorant le mode de paiement ,par exemple, en adoptant le paiement avant de monter dans le véhicule et en multipliant le nombre de portes accessibles sur le véhicule. Dans la figure 2 ci-dessous nous montrons l'effet des arrêts sur le débit des autobus et la capacité des stations. L'accent est mis sur la nécessité d'arrêts bien conçus.

La figure 2 montre l'incidence du mode de paiement et du nombre d'emplacements aux stations sur le nombre d'autobus cumulé par heure accédant en station. Le chargement des passagers se fait en dehors de la voie ce qui implique des emplacements particuliers pour les autobus,

velocities of theoric operation superior to 20 km/h.

The operating speed and the reliability of the buses in exclusive right of way are the paramount characteristics of the system: these parameters can be improved while reducing or by eliminating the various types of delay.

The boarding time can be tiny room by improving the process of collection of the receipt, thanks to prepayment of the bill, the distributors of bills in self-service store, a more important use of charts pass, intelligent charts, etc and by facilitating the access to the vehicles by proposing board

The delays can be reduced by increasing the intervals between stops and thus by decreasing the number of stops. There is a compromise to find between a better service road and an optimized operation. The reduction of the boarding time in station can be obtained by improving the mode of payment e.g. by adopting the payment before getting into the vehicle and by multiplying the number of accessible doors on the vehicle. In figure 2 below we show the effect of the stops on the flow of the buses and the capacity of the stations. The stress is laid on the need for well conceived stops.

Figure 2 shows the incidence of the mode of payment and the number of sites at the stations on the number of cumulated bus per hour reaching in station. The loading of the passengers is done apart from the way what implies particular sites for the buses,

seconds and to have inter-stations higher than 300 m to have mean

situés en dehors de la chaussée et permettant aux autobus pleins de s'insérer à nouveau dans la circulation.

Le nombre de passagers par autobus retenu dans cette étude (Wilbur Smith & Associates, 1975) est de 50. Sur la figure 2, presque 150 autobus à l'heure passent par la station qui dispose de 4 emplacements et un mode de paiement à l'avance avec 4 portes par véhicule : 25 années après la parution de cette étude, Transmilenio (autobus en site propre de Bogota) adopte ce mode opératoire en station avec jusqu'à 4 places d'arrêt en station et deux voies par direction en site propre. Nous décrivons le site propre de Bogota dans une deuxième partie de ce rapport.

Un site propre permet d'obtenir de meilleurs niveaux de régularité, de sécurité et de confort. Les avantages du site propre sont dus à ses caractéristiques géométriques et au fait que le site tient compte des principes de conception qui déterminent de manière appropriée l'emplacement des arrêts de service. Les autobus roulant plus vite, il est possible d'obtenir une diminution des coûts d'exploitation, le nombre de véhicules et le personnel correspondant nécessaires aux rotations étant moins nombreux.

De nos jours, la vitesse commerciale constatée pour les services omnibus sur les sites propres de Bogota, Curitiba, Porto Alegre et Quito est de l'ordre de 20 Km/h et de 18 Km/h à São Paulo dont les sites sont encombrés de véhicules de transport pirates. La vitesse commerciale des autobus effectuant des services express à Bogota et à Curitiba ont une vitesse commerciale moyenne de 30 à 32 Km/h.

located outside the roadway and allowing the full buses to form part again of circulation.

The number of passengers per bus retained in this study (Wilbur Smith & Associates, 1975) is 50. On figure 2, almost 150 buses per hour pass by the station which has station which has 4 sites and a mode of payment in advance with 4 doors per vehicle: 25 years after the publication of this study, Transmilenio (bus in exclusive right of way of Bogota) adopts this procedure in station with up to 4 places of stop in station and two ways by direction on exclusive right of way.

We describe the exclusive right of way of Bogota in a second part of this report/ratio. An exclusive right of way makes it possible to obtain better levels of regularity, safety and comfort. The advantages of the exclusive right of way are due to its geometrical characteristics and the fact that the site holds account of the principles of design which determines in a suitable way the site of the stops of service. The buses running more quickly, it are possible to obtain a reduction in the costs of operation, the number of vehicles and the personnel corresponding necessary to rotations being fewer.

Nowadays, the block speed noted for the bus services on the exclusive rights of way of Bogota, Curitiba, Porto Alegre and Quito is about 20 Km/h and 18 Km/h with São Paulo whose sites are encumbered pirate freight vehicles.

The block speed of the bus carrying out of the services express train in Bogota and Curitiba have an average block speed from 30 to 32 Km/h. 1.

L'exploitation en convois

Nous avons vu précédemment que le type d'aménagement dépend de l'exploitation

L'exploitation en convois

Sur certains réseaux outre l'adoption de site propre pour autobus, on exploite ces autobus organisés en convois de manière à réduire le temps d'arrêt en station.

Cette technique appelée COMONOR (COMbois de ONibus ORdenados, autobus ordonnés en convois) a été adoptée au Brésil sur des lignes d'autobus en site propre à Sao Paulo et à Porto Alegre.

Cette forme d'exploitation nécessite que les autobus soient ordonnés à l'entrée du "busway", selon la fréquence des lignes, une organisation des arrêts selon la destination des usagers, chaque bus venant se placer au droit de l'arrêt qui le concerne, la position du bus dans le convoi en mouvement étant la même que celle dans la station.

Le principe est de minimiser les temps d'arrêts en ayant des autobus qui démarrent et s'arrêtent presque simultanément (comme les voitures d'une rame de métro).

Par exemple, chaque ligne et chaque autobus sont placés dans un des 3 groupes A-B-C et les autobus sont rangés autant que possible dans l'ordre correct au début du "busway" où se trouve un feu de signalisation donnant le départ.

Cette organisation couplée à la possibilité de doubler au droit des arrêts permet d'accroître la capacité de la ligne et la vitesse commerciale des systèmes de transport par autobus.

Cette organisation garde une certaine souplesse et permet de choisir différentes longueurs de convois (jusqu'à 9 autobus),

Exploitation in convoys We saw previously that the type of installation

depends on the exploitation the exploitation in convoys On certain networks in addition to the adoption of exclusive right of way for bus, one uses these buses organized in convoys so as to reduce the downtime in station.

This technique called COMONOR (COMbois de ONibus ORdenados, buses ordered in convoys) was adopted in Brazil on lines of bus in exclusive right of way in Sao Paulo and Oporto Alegre. This form of exploitation requires that the buses are ordered with the entry of the "busway", according to the frequency of the lines, an organization of the stops according to the destination of the users, each bus coming to place itself at the right of the stop which relates to it, the position of the bus in the convoy moving being the same one as that in the station.

The principle is to minimize the downtimes by having buses which start and stop almost simultaneously (as the cars of a subway train).

For example, each line and each bus are placed in one of the 3 groups A-B-C and the buses are arranged as much as possible in the correct order at the beginning of the "busway" where a traffic light giving is the departure.

This organization coupled with the possibility of doubling with the right of the stops makes it possible to increase the capacity of the line and the block speed of the systems of transport per bus.

This organization keeps a certain flexibility and makes it possible to choose various lengths of convoys (to 9 buses),

convois complets ou incomplets en fonction de l'arrivée des autobus à l'entrée du couloir.

### La Priorité aux feux de circulation

Une condition fondamentale pour accroître la vitesse commerciale des autobus est de ne faire emprunter aux lignes de bus que des axes prioritaires.

Les cycles de feux peuvent entraîner des pertes de temps importantes pour les transports collectifs.

On trouve des temps de cycle de 120 secondes et davantage et s'il est vrai qu'ils accroissent la capacité du carrefour, ils allongent également les temps d'attente pour les autobus. Des cycles plus brefs 60-70 secondes sont dès lors mieux indiqués pour augmenter la vitesse des transports publics.

Des pertes de temps pour les transports publics se produisent aussi avec les feux à enclenchement progressif (onde verte) malgré le calage de l'onde verte sur la vitesse moyenne des autobus (tenant compte des arrêts en station).

La priorité aux feux pour les autobus se traduit par la possibilité d'allonger la durée du feu vert ou de réduire la durée du feu rouge pour pouvoir traverser le carrefour sans perte de temps.

La durée maximale de l'augmentation du temps de vert est fonction de la durée de cycle et du temps minimal de vert pour la direction transversale.

complete or incomplete convoys according to the arrival of the buses to the entry of the corridor.

### Priority with fires of circulation

A fundamental condition to increase the block speed of the buses is to make borrow from the lines of bus only priority axes. The cycles of fires can involve important wastes of time for collective transport.

One finds time cycle of 120 seconds and more and if it is true that they increase the capacity of the crossroads, they also lengthen the latencies for the buses. Shorter cycles 60-70 seconds consequently are indicated better to increase the speed of public transport.

Wastes of time for public transport also occur with fires with progressive interlocking (green wave) in spite of the chock of the green wave on the mean velocity of the buses (holding account of the stops in station).

The priority with fires for the buses results in the possibility of to lengthen the duration of the green light or to reduce the duration of the red light to be able to cross the crossroads without waste of time.

The maximum duration of the increase in the time of green is a function of the duration of cycle and the minimal time of green for the transverse direction.

L'augmentation du temps de vert (ou réduction du temps de rouge) grâce à une signalisation particulière se fait au détriment du trafic, tandis que la simple augmentation du temps de vert général (ou réduction du temps de rouge général) ne touchent que le trafic transversal.

Le trafic circulant dans la même direction profite comme les autobus de l'augmentation du temps de vert. Dans le cas où des autobus approchent d'un carrefour équipé de commande de priorité sur les deux axes, c'est en général la première commande exprimée qui est prise en compte.

La demande d'un traitement prioritaire aux feux de circulation est supprimée lors du franchissement du carrefour (boucles noyées ou dispositifs infrarouges).

Il existe deux systèmes de commande de priorité qui se distinguent par leur mode de transmission de données entre le point de demande et le système de feux de circulation. Un principe consiste à intégrer des boucles de réception, dans la chaussée aux points de demande, reliées à l'appareil de commande des feux de circulation par un câble : l'autobus émet un signal caractéristique en passant sur la boucle.

Pour éviter les coûts de construction dans la chaussée, une autre solution consiste à transmettre par ondes radio à un récepteur intégré dans l'appareillage de commande de feux du carrefour la demande de priorité de l'autobus.

Le signal émis après la traversée du carrefour est transmis soit par une boucle noyée pour le premier principe, soit par transmission hertzienne pour le second principe.

The increase in the time of green (or reduction of the time of red) thanks to a particular indication is made with the detriment traffic, while the simple increase in the time of general green (or reduction of the time of general red) touches only the transverse traffic.

The traffic circulating in the same direction profits like the buses from the increase from time from green. If buses approach a crossroads equipped with ordering of priority on the two axes, it is in general the first expressed order which is taken into account.

The request for a priority treatment fires of circulation is removed at the time of the crossing of the crossroads (drowned loops or infra-red devices).

There are two control devices of priority which are characterized by their mode from data transmission between the point of request and it and the system of fires of circulation. A principle consists in integrating loops of reception, in the roadway at the points of request, connected to the controller of fires of circulation by a cable: the bus emits a characteristic signal while passing on the loop. To avoid the costs of construction in the roadway, another solution consists in transmitting by radio waves to a receiver integrated in the controlgear of fires of the crossroads the request for priority of the bus.

The signal emitted after the crossing of the crossroads is transmitted either by a loop drowned for the first principle, or by hertzian transmission for the second principle.

### **3. Du couloir réservé au site propre**

Les modes routiers qui circulent sur la voirie suivent les lois de la circulation routière, le niveau de service diminue avec la croissance des débits à transporter, ainsi nous constatons depuis de nombreuses années :

- une baisse des vitesses commerciales qui voisinent les 10 Km/h dans les centres urbains,
- une baisse de la régularité (trains d'autobus),
- une augmentation des besoins en personnel et matériel et donc des coûts.

Différents aménagements facilitant la circulation en voirie des autobus ont été réalisés, ainsi en France dès 1965 les premiers couloirs apparaissaient à Marseille et à Paris.

#### **3.1 L'insertion**

La mise en oeuvre de projets de transport en site propre au sol est une opération complexe, dans laquelle les possibilités d'insertion conditionnent directement la faisabilité d'ensemble de l'opération. Dans le cas de ville nouvelle, le problème d'insertion se pose peu, cependant dans le cas général de voiries préexistantes, c'est le principal problème à résoudre dans la mesure où l'environnement apparaît souvent par nature hostile.

L'insertion du site propre oblige à une redéfinition des trois fonctions de la voirie qui sont d'abord un lieu de circulations diverses, d'activités économiques et enfin un cadre de vie pour les citoyens. L'espace réservé à la circulation et au stationnement permet d'y insérer raisonnablement un site propre. L'implantation du site propre sert souvent de catalyseur dans l'amélioration de l'environnement routier et permet de rechercher dans le cadre des expropriations envisagées le meilleur compromis entre circulations, activités et cadre de vie<sup>3</sup>.

### **Corridor reserved for the exclusive right of way**

The road modes which circulate on the roadway system follow the laws of the road traffic, the level of service decreases with the growth of the flows to transport, thus we note since many years:

- a fall the commercial speeds which are neighbourly the 10 Km/h in the urban centres
- a fall of the regularity (trains of bus)
- an increase in the requirements as a personnel and material and thus of the costs.

Various installations facilitating circulation in roadway system of the buses were carried out, thus in France as of 1965 the first corridors appeared in Marseilles and Paris.

#### **3.1 Insertion**

The implementation of projects of transport in exclusive right of way on the ground is a complex operation, in which the possibilities of insertion directly condition the overall feasibility of the operation. In the case of new city, the problem of insertion arises little, however in the general case of preexistent roadway systems, it is the principal problem to be solved insofar as the environment often appears by hostile nature.

The insertion of the exclusive right of way obliges with a redefinition of the three functions of the roadway system which are initially a place of various circulations, economic activities and finally a framework of life louse.

The space reserved for circulation and the parking makes it possible to insert an exclusive right of way reasonably there. The establishment of the exclusive right of way is often used as catalyst in the improvement of the road environment and makes it possible to

Le 3. projet apparaît alors comme un véritable projet d'urbanisme couvrant les aménagements en faveur de la circulation des transports en commun, de celles des voitures particulières, éventuellement des pistes cyclables, des cheminements piétonniers, du stationnement, des livraisons ainsi que de la qualité de l'environnement (plantations, paysage urbain, etc.).

L'insertion peut être envisagée selon quatre types de disposition :

- sous la forme de **rues réservées aux piétons et aux T.C.** dans la mesure où toute circulation de transit peut être bannie, cette solution apparaît comme la seule réellement possible lorsque la largeur d'emprise est inférieure à 15 mètres (Lyon, Metz, etc.).
- sous la forme d'une **disposition bilatérale, axiale ou unilatérale**, lorsqu'une circulation automobile est maintenue :

**Le site propre bilatéral** comporte une voie en sens unique de chaque côté de la chaussée, c'est a priori la disposition la plus simple et la plus économe en emprise (ex: RN3 à Pantin, Trans Val de Marne en partie, etc.).

**Le site propre axial**, malgré quelques inconvénients (problème des entrées - sorties, emprises supérieures liées à l'aménagement des stations) apparaît comme le plus intéressant tant au plan de l'environnement qu'à celui des performances à attendre (ex: Le Mans, Liège, Curitiba, etc.).

**Le site propre unilatéral** où les deux voies sont regroupées d'un même côté de la chaussée est plutôt exceptionnel du fait de ses difficultés importantes de mise en oeuvre (carrefours, riverains).

seek within the framework of expropriations considered the best compromise between circulations, activities and tallies of life.

The 3. project then seems a true project of town planning covering installations in favour of the circulation of public transport, of those of the private cars, possibly of the cycle tracks, the pedestrian routes, the parking, the deliveries as well as environmental quality (plantations, urban landscape, etc).

Insertion can be considered according to four types of provision:

- in the shape of streets reserved to the pedestrians and for the T.C. insofar as any circulation of transit can be banished, this solution seems only the really possible one when the width of influence is lower than 15 meters (Lyon, Metz, etc).
- in the form of a bilateral, axial or unilateral provision, when a motor vehicle traffic is maintained:

**The bilateral exclusive right of way** comprises a way in single direction on each side of the roadway, it is a priori the simplest provision and most sparing in influence (ex: RN3 with Pantin, Trans Valley of the Marne partly, etc).

**The axial exclusive right of way**, in spite of some disadvantages (problem of the entries - exits, higher influences related to the installation of the stations) seems most interesting as well in the plan of the environment as to that of the performances to await (ex: Mans, Liege, Curitiba, etc).

The unilateral exclusive right of way where the two ways are gathered on the same side of the roadway is rather exceptional because of its important difficulties of implementation (crossroads, residents).

Quelle que soit la disposition retenue, ce n'est qu'à partir d'une largeur d'emprise de 25 m env. que des solutions satisfaisantes peuvent être trouvées.

### 3.2 Dimensionnement et insertion d'un axe lourd TC

*L'insertion d'un axe lourd dans un site est conditionnée par les choix préliminaires des principales contraintes géométriques qui caractérisent cette insertion. Il faut en effet, connaître :*

- le profil en travers de l'axe lourd,
- son profil en long,
- les rayons de courbure de la voie,
- les dimensions principales des stations.

Ces différentes caractéristiques qui vont être reprises successivement dépendront du type de véhicule retenu, de la demande de transport, du service que l'on veut offrir, et surtout du confort que l'on veut offrir.

Le profil en travers dépend du type de véhicule retenu, du gabarit dynamique des véhicules et des lames d'air à respecter entre les véhicules qui se croisent et les obstacles fixes, des surlargeurs en courbe (dépendant de l'empattement des voitures et de l'amplitude des suspensions.

La largeur d'emprise d'un site propre à double sens est variable selon la fréquence des croisements des autobus donc selon les débits dans les deux sens de circulation .

Le profil en long est contraint essentiellement par des limites de pente des voies, pour des raisons de confort des passagers, mais surtout pour des raisons de puissance de matériel qui doit pouvoir

Whatever the provision selected, it is only starting from one width of influence of 25 m approx. that satisfactory solutions can be found.

### 3.2 Dimensioning and insertion of a heavy axis

The insertion of a heavy axis in a site is conditioned by the preliminary choices of the principal geometrical constraints which characterize this insertion. It is necessary indeed, to know:

- profile across the heavy axis,
- its profile longitudinally, - radii of curvature of the way,
- principal dimensions of the stations.

These various characteristics which will be taken again successively will depend on the type of vehicle selected, of the request for transport, the service which one wants to offer, and especially comfort that one wants to offer.

The profile transversely depends on the type of vehicle selected, of the dynamic gauge of the vehicles and the blades of air to be respected between the vehicles which pass each other and the fixed obstacles, of the extra widths in curve (depend on the footing of the cars and the amplitude of the suspensions.

The width of influence of an exclusive right of way with double direction is variable according to the frequency of the crossings of the buses thus according to flows' in the two directions of circulation. The profile longitudinally is primarily constrained by limits of slope of the ways, for reasons of comfort of the passengers, but especially for reasons of power of material which must be able to start again after a stop on this slope and which it is useless to oversize for a



redémarrer après un arrêt dans cette pente et qu'il est inutile de surdimensionner pour un point singulier. En pratique, les limites usuelles des pentes sont situées entre 4 et 6 TC % en section courante pour les véhicules sur pneus ; sur certaines très courtes sections, on peut envisager toutefois des déclivités allant de 4 à 8 %, et jusqu'à 10 % sur des bretelles d'accès.

Pour pouvoir conserver un confort suffisant aux passagers, il est nécessaire d'établir des limites aux caractéristiques dynamiques des véhicules, qui correspondent aux efforts dynamiques maxima que peut supporter l'utilisateur, et qui sont en général les suivants : accélération longitudinale maximale :

1,0 à 1,2 m/s<sup>2</sup>

accélération transversale (non compensée)

maximale : 0,65 à 1,0 m/s<sup>2</sup>

accélération verticale maximale :

0,16 à 0,5 m/s<sup>2</sup>

Ces contraintes se traduisent, d'une part par des normes de fonctionnement de matériel (limitations des accélérations aux démarrages et aux freinages normaux), d'autre part par des valeurs minimales de rayons (en plan et en profil en long) que le tracé doit respecter pour permettre au véhicule de circuler sur cette courbe à une vitesse  $V_n$ . Nous rappelons dans le tableau 1 ci-après selon les valeurs mini ou maxi des accélérations transversale et verticale, les valeurs correspondantes des rayons minima en plan et en profil en long.

Ces contraintes de rayons jouent un rôle déterminant pour les problèmes d'insertion de tracé dans un site. En effet, la plupart des matériels peuvent

singular point.

In practice, the usual limits of the slopes are located between 4 and 6 TC % in current section for the vehicles on tyres; on some very short sections, one can consider however declivities going from 4 to 8 %, and up to 10 % on access ramps.

To be able to preserve a sufficient comfort at the passengers, it is necessary to establish limits with the dynamic characteristics of the vehicles, who correspond to the maximum dynamic stresses which the user can support, and who are in general the following: maximum longitudinal acceleration:

1,0 to 1,2 m/s<sup>2</sup>

transverse acceleration (not compensated) maximum:

0,65 to 1,0 m/s<sup>2</sup> maximum vertical acceleration: 0,16 to 0,5 m/s<sup>2</sup>

These constraints are translated, on the one hand by standards of operation of material (limitations of accelerations to startings and normal brakings), on the other hand by minimal values of rays (in plan and profile longitudinally) that the layout must respect to allow the vehicle to circulate on this curve at a  $V_n$  speed. We recall in table 1 hereafter according to values' maximum minis or of accelerations transversal and vertical, the corresponding values of the rays minima in plan and profile longitudinally.

These constraints of rays play a part determining for the problems of insertion of layout in a site. Indeed, the majority of the materials can

admettre des rayons faibles (nécessaire sur les voies de service et dans les dépôts avec exploitation sans voyageurs), mais l'établissement d'une courbe de faible rayon se traduira par un ralentissement du véhicule, qui ne peut franchir cet obstacle qu'à une vitesse réduite et parfois aussi par une surlargeur du gabarit d'ouvrage. Ces ralentissements provoquent une diminution de la vitesse commerciale, une diminution des fréquences possibles et auront une conséquence défavorable sur la capacité de la ligne.

En pratique, il est recommandé d'éviter les rayons inférieurs à 100 mètres et d'essayer d'avoir le minimum de rayons inférieurs à 200 mètres. Si l'implantation d'une courbe de faible rayon est inévitable, il est recommandé de la localiser le plus près des entrées-sorties des stations, là où les véhicules auront une vitesse inférieure à leur vitesse maximum .

### **3.2.1 Les caractéristiques géométriques de l'emprise en section courante**

#### **3.2.1.1 Largeur d'emprise**

La largeur d'emprise est calculée pour des véhicules de 2,50 m de large et varie selon les paramètres suivants :

- la nature du séparateur ou isolateur qui dépend des usagers ou de l'occupation de l'espace adjacent au site propre ;
- les flux d'autobus empruntant le site propre et le type d'exploitation (sens unique ou double sens) ;
- la vitesse de roulement prévue.

admit weak rays (necessary on the tracks shunt and the deposits with exploitation without travellers), but the establishment of a short radius curve will result in a deceleration who can cross this obstacle only at one fallback speed and sometimes also by an extra width of the gauge of work. These decelerations cause a reduction block speed, a reduction in the possible frequencies and will have an unfavourable consequence on the capacity of the line.

In practice, it is recommended to avoid the rays lower than 100 meters and to try to have the minimum of rays lower than 200 meters. If the establishment of a short radius curve is inevitable, it is recommended to locate it more close to the input-outputs of the stations, where the vehicles will have a speed lower than their maximum speed.

### **3.2.1 The geometrical characteristics of the influence in current section**

#### **3.2.1.1 Width of influence**

The width of influence is calculated for some 2,50 m broad vehicles and varies according to following parameters':

- the nature of the separator or insulator which depends on the users or the occupation of adjacent space to the exclusive right of way;
- flows of bus borrowing the exclusive right of way and the type of exploitation (single direction or double direction);
- the speed of bearing envisaged.

Le recours aux séparateurs<sup>1</sup> ou isolateurs<sup>2</sup> infranchissables lorsque des risques d'accident ou de non respect des interdictions de circuler ou de stationner apparaissent est souhaitable, ils peuvent aussi être utilisés:

- Comme protection contre la traversée des piétons lorsque le site propre est indépendant ou longe un trottoir,
- Comme protection contre la circulation automobile.

Dans le cas d'un site propre à double sens, la largeur d'emprise est variable selon la fréquence des croisements des autobus.

Une étude de la RATP (RATP, 1977) a montré que la largeur d'emprise nécessaire croît en fonction de la vitesse de roulement. Elle varie selon le type de délimitation du site propre :

- Séparateurs ou isolateurs infranchissables des deux côtés,
- Séparateurs ou isolateurs franchissables des deux côtés,
- Séparateurs ou isolateurs infranchissables d'un côté et franchissables de l'autre.

Ainsi dans le cas de séparateurs ou isolateurs infranchissables deux tableaux 2 & 3 ci-dessous repris de l'étude RATP montrent les emprises nécessaires lorsque le débit d'autobus

---

<sup>1</sup> Un séparateur franchissable peut être constitué par un simple marquage au sol à la peinture ou par une bordurette talutée.

Un séparateur infranchissable est constitué par des glissières métalliques classiques soit par des glissières en béton.

<sup>2</sup> L'isolateur isole une largeur roulable affectée à la circulation des autobus : il a les mêmes caractéristiques que les séparateurs franchissables ou infranchissables

The recourse to the insuperable separators or insulators when risks of accident or nonrespect of prohibitions to circulate or station appear is desirable, they can also be used:

- As protection counters the crossing of the pedestrians when the exclusive right of way is independent or skirts a pavement
- Like protection against the motor vehicle traffic.

In the case of an exclusive right of way with double direction, the width of influence is variable according to the frequency of the crossings of the buses. A study of the RATP (the RATP, 1977) showed that the width of influence necessary grows according to the speed of bearing. It varies according to the type of delimitation of the exclusive right of way:

- Separators or insuperable insulators on the two sides,
- Separators or passable insulators on the two sides
- Separators or insuperable on a side and passable insulators of the other.

Thus in the case of separators or insuperable insulators two tables 2 & 3 mentioned below of study the RATP show the necessary influences

-  
est inférieur à 60 autobus par heure et lorsqu'il est supérieur à ce débit.

Nous verrons dans le chapitre sur les autobus guidés tout l'intérêt du guidage pour la réduction d'emprise et une meilleure insertion et accostage en station.

### 3.2.1.2 Les caractéristiques du tracé

*Les normes correspondant au transport urbain de passagers doivent prendre en compte la sécurité et le confort des passagers (notamment debout).*

3.2.1.2.1 Le tracé en plan : rayon de courbure, surlargeurs

Rayon de courbure minimal

Pour une vitesse donnée de l'autobus, le rayon de courbure minimal est celui qui, compte tenu du dévers de la piste, limite l'accélération transversale subie par les passagers à l'accélération admissible.

Sur un site propre de rayon de courbure  $R$ , un autobus circulant à la vitesse  $V$  subit une accélération centrifuge :  $V^2/R$

Cette accélération centrifuge peut être compensé grâce à l'introduction d'un dévers de la chaussée d'angle.

L'accélération transversale résiduelle est alors  $V^2/RD \sin \alpha$

Elle est limitée pour des raisons de confort à une valeur  $\square$ , et les projeteurs cherchent en général à la compenser totalement. La valeur limite souhaitable est de  $0,8 \text{ m/s}^2$ ,  $1 \text{ m/s}^2$  constituant le maximum acceptable.

when the flow of bus is lower than 60 buses per hour and when it is higher than this flow.

We will see in the chapter on the guided buses all the interest of guidance for the reduction of influence and a better insertion and accosting in station.

### 3.2.1.2 Characteristics of the layout

The standards corresponding to the urban transport of passengers must take into account the safety and the comfort of the passengers (in particular upright).

3.2.1.2.1 The alignment: radius of curvature, extra widths

Minimal radius of curvature

For a given speed of the bus, the minimal radius of curvature is that which, taking into account the cant of the track, limits the transverse acceleration undergone by the passengers to acceptable acceleration.

On an exclusive right of way of radius of curvature  $R$ , a bus circulating at the speed  $V$  undergoes a centrifugal acceleration:  $V^2/R$ .

This acceleration centrifugal can be compensated thanks to the introduction of a cant of the roadway of angle. Residual transverse acceleration is then  $V^2/RD \sin \alpha$ .

It is limited for reasons of comfort to a value  $g$ , and the designers in general seek to compensate for it completely. The desirable limiting value is of  $0,8 \text{ m/s}^2$ ,  $1 \text{ m/s}^2$  constituting the acceptable maximum.

Le rayon de courbure minimal absolu est déterminé par le rayon de courbure minimal extérieur qui est de 11,00 m et le rayon minimal intérieur de 5,00 m pour les autobus parisiens. Ces rayons ne peuvent être retenus que dans les dépôts où la vitesse des autobus est presque nulle.

#### Surlargeur

Lorsque l'autobus aborde une courbe, son encombrement géométrique nécessite de prévoir une surlargeur pour réaliser le même dégagement latéral qu'en section courante.

Dans le cas d'un site propre à voie unique le rayon minimal extérieur est donné par la formule :

$$\sqrt{L^2 + (1 + d + r)^2} + d - (r + \omega)$$

où  $r$  = le rayon de courbure intérieur de la largeur utile,

$d$  = le dégagement latéral,

$L$  = la distance entre l'avant et l'essieu arrière de l'autobus,

$l$  = la largeur de l'autobus,

□□□□ la largeur utile en alignement.

#### 3.2.1.2.2 Le profil en long

Le profil en long du site propre est composé de deux éléments : les pentes et les profils de raccordement entre deux pentes successives.

##### Déclivités

Les vitesses atteintes en rampe par les autobus à moteur arrière sont données dans le tableau 3 ci-après :

**Tableau 6 : Vitesse possible selon le pourcentage de la pente**

The absolute radius of curvature minimal is determined by the external radius of curvature minimal which is 11,00 m and the interior minimal ray of 5,00 m for the Parisian buses. These rays can be retained only in the deposits where the speed of the buses is almost null.

#### Extra width

When the bus approaches a curve, its geometrical obstruction requires to envisage an extra width to carry out the same side release as in current section. In the case of an exclusive right of way with single track the external minimal ray is given by the formula:

$$\sqrt{L^2 + (1 + d + r)^2} + d - (r + \omega)$$

where  $R$  = the interior radius of curvature of the working width,

$D$  = the side release,

$L$  = the distance enters before and the rear axle of the bus,

$l$  = the width of the bus,

$W$  = the working width in alignment.

#### 3.2.1.2.2 Profile longitudinally

The profile longitudinally of the exclusive right of way is composed of two elements: slopes and profiles of connection between two successive slopes.

##### Declivities

Speeds reached crawls about it by the engine buses postpones are given in table 3 hereafter:

**Table 6: Possible speed according to the percentage of the slope**

% en section courante (vitesse de base de 40 km / h). Sur de très courtes sections, des déclivités de 4 à 8 % peuvent être envisagées et sur des bretelles d'accès jusqu'à 10 %.

L'autobus R312 mis en service à partir de 1987 a été mesuré avec une vitesse de 36 km /h dans une pente de 7 % avec des démarrages sur pente de 13 %.

#### Distance de visibilité

Les distances minimales de visibilité étant donné la valeur de la décélération imposée par la sécurité des passagers qui est estimée à 1,2 m/s<sup>2</sup> sont données dans le tableau ci-après :

**Tableau 7 : Distance minimale de visibilité en fonction de la vitesse**

Vitesse de l'autobus	40 h	60 h	80 h
Distance minimale de visibilité	60 m	130 m	200 m

Source : Ratp, 1977

### 3.2.2 Les caractéristiques des stations

Le choix du type de station dépend d'une part, des emprises disponibles, d'autre part du trafic de voyageurs fréquentant la station pendant les heures de pointe. Les stations sur site propre peuvent être conçues soit avec des quais latéraux, soit avec des quais centraux.

#### 3.2.2.1 Quais bilatéraux

Quais face à face

Trois dispositions sont possibles :

Sans évitement, disposition normale dans le cas d'un service omnibus avec un débit inférieur à 30 autobus à l'heure. La largeur d'emprise nécessaire varie entre 8,50 et 14,00 mètres.

% in current section (design speed of 40 km/H). On very short sections, declivities from 4 to 8 % can be considered and on access ramps up to 10 %.

The R312 bus brought into service since 1987 was measured with a speed of 36 km /h on a slope of 7 % with startings on slope of 13 %.

#### Sight distance

The minimal distances from visibility being given the value of the deceleration imposed by the safety of the passengers which is estimated at 1,2 m/s<sup>2</sup> are given in the table hereafter:

**Table 7: Minimal distance of visibility according to speed**

### 3.2.2 Characteristics of the stations

The choice of the type of station depends on the one hand, of the influences available, on the other hand movement of travellers attending the station during the peak hours. The stations on exclusive right of way can be conceived either with side quays, or with central Quays.

#### 3.2.2.1 Bilateral quays

Quays face to face

Three provisions are possible:

Without avoidance, normal provision in the case of a bus service with a flow lower than 30 buses per hour. The width of influence necessary varies between 8,50 and 14,00 meters.

Avec évitement et voie double, cette disposition permet l'arrêt des autobus hors chaussée du site propre et le passage des services express par exemple. La largeur d'emprise nécessaire varie entre 15,00 et 20,50 mètres.

Avec évitement et voie simple à double sens, cette disposition ne permet pas le passage des bus express ou le dépassement des bus à l'arrêt que si la fréquence des bus est faible. La largeur d'emprise est plus faible que dans le cas précédent, entre 11,75 et 16,75 mètres.

#### Quais décalés

Cette disposition permet une insertion dans des largeurs plus faible que précédemment. Sans évitement, l'emprise nécessaire varie entre 7,50 et 10,75 mètres.

Avec évitement, l'emprise nécessaire varie entre 10,75 et 14,00 mètres.

#### **3.2.2.2 Quais centraux**

Cette disposition est possible si les autobus circulent du côté gauche de la chaussée et à contresens de la circulation générale, la disposition des portes étant du côté droit des véhicules.

Sur certains sites propres de grande longueur, les portes sont disposées sur la façade gauche des autobus.

With avoidance and double way, this provision allows the stopping of the buses except roadway of the exclusive right of way and the passage of the services express train for example. The width of influence necessary varies between 15,00 and 20,50 meters.

With avoidance and simple way with double direction, this provision does not allow the passage of the buses express train or the passing of the buses the stop only if the frequency of the buses is weak. The width of influence is lower than in the preceding case, between 11,75 and 16,75 meters.

#### Shifted quays

This provision allows an insertion in widths weaker than previously. Without avoidance, the influence necessary varies between 7,50 and 10,75 meters. With avoidance, the influence necessary varies between 10,75 and 14,00 meters.

#### **3.2.2.2 Central quays**

This provision is possible if the buses circulate on the left side of the roadway and with misinterpretation of general circulation, the provision of the doors being right side of the vehicles.

On certain exclusive rights of way big length, the doors are laid out on the left frontage of the buses.

L'emprise nécessaire à ces stations est plus faible que celle nécessaire aux stations à quais bilatéraux :

l'emprise pour des stations sans évitement varie de 7,50 à 11,00 mètres, l'emprise nécessaire pour des stations avec évitement varie de 14,00 à 17,50 mètres, l'emprise nécessaire pour des stations avec évitement et quais décalés varie entre 11,25 et 14,50 mètres.

### **3.2.2.3 Emprises des stations**

La principale difficulté d'insertion des sites propres pour autobus réside dans la nécessité de station plus large que la section courante du site propre. La longueur totale d'une station dépend du nombre de postes de stationnement à quai, la largeur totale d'emprise dépend du type de station retenue (cf. § précédents) et de la largeur de quai nécessaire pour écouler le trafic de voyageurs.

La longueur normale d'une station sans évitement est de 25 mètres (un poste d'arrêt doublé d'un poste de réserve) pour exploiter des autobus standards.

Le bon fonctionnement d'une station à évitements nécessite une distance entre les postes de stationnement suffisante pour permettre le fonctionnement indépendant de ces postes, c'est à dire la mise à quai et le dégagement sans gêne malgré les postes voisins occupés. Nous verrons dans le cas du Transmilenio à Bogota le créneau nécessaire aux autobus articulés lorsqu'il y a plusieurs postes de stationnement à quai.

The influence necessary to these stations is weaker than that necessary to the stations with bilateral quays: the influence for stations without avoidance varies from 7,50 to 11,00 meters,

the influence necessary for stations with avoidance varies from 14,00 to 17,50 meters,

the influence necessary for stations with shifted avoidance and quays varies between 11,25 and 14,50 meters.

### **3.2.2.3 Influences of the stations**

The principal difficulty of insertion of the exclusive rights of way for bus lies in the need for station broader than the current section of the exclusive right of way. The overall length of a station depends on the number of stations of parking to quay, the total width of influence depends on the type of station selected (preceding cf §) and on the width of quay necessary to run out the movement of travellers.

The normal length of a station without avoidance is 25 meters (a station of doubled stop of a station of reserve) to use standard buses.

The correct operation of a station with avoidances requires a distance between the stations of parking sufficient to allow operation independent of these stations, i.e. the setting with quay and the release without embarrassment in spite of the occupied close stations. We will see in the case of Transmilenio in Bogota the crenel necessary to the articulated buses when there are several stations of parking to quay.



#### **3.2.2.4 L'accès des voyageurs au site propre**

Afin d'éviter les accidents, les voyageurs doivent pouvoir accéder aux stations par des cheminements dénivelés leur évitant de traverser à niveau le site propre : des barrières ou des portes palières dissuaderont les usagers de traverser à niveau la chaussée du site propre. Des passages équipés de feux peuvent permettre aussi la traversée des piétons.

### **3.3 Les caractéristiques de la chaussée**

(à rédiger)

#### **3.3.1 Le dimensionnement de la chaussée**

### **3.4 Quelques cas de site propre à travers le monde**

#### **3.4.1 La progressivité des aménagements en site propre**

S'il est possible de transformer un couloir réservé en site propre au sol, par matérialisation des séparations et mise en oeuvre de systèmes de priorité aux feux, il peut aussi être envisagé de déniveler certaines parties d'itinéraires de lignes en site propre pour traverser d'importants carrefours ou un centre ville. L'aménagement est progressif ainsi que l'investissement mais "l'effet TCSP" sur la clientèle n'en sera que plus lent.

#### **3.4.2 Le site propre sur chaussée existante**

La protection du site sur lequel circulent les véhicules de transport collectif est difficile à

#### **3.2.2.4 The access of the travellers to the exclusive right of way**

In order to avoid the accidents, the travellers must be able to reach the stations by uneven routes avoiding to them crossing on level the exclusive right of way: barriers or landing doors will dissuade the users to cross on level of the surface road. Passages equipped with fires can also allow the crossing of the pedestrians.

### **3.3 Characteristics of the roadway (to be written)**

#### **3.3.1 pavement design**

### **3.4 Some cases of exclusive right of way throughout the world**

#### **3.4.1 the progressiveness of installations in exclusive right of way**

If it is possible to transform a corridor reserved into exclusive right of way on the ground, by matérialisation of separations and implementation of systems of priority to fires, it can also be planned to make uneven certain parts of routes of clean lines of sight to cross important crossroads or a CBD.

Installation is progressive as well as the investment but "effect TCSP" on the customers will be only slower.

#### **3.4.2 The exclusive right of way on existing roadway**

The protection of the site on which circulate the freight vehicles collective is difficult with

assurer et il y a des conflits de circulation aux carrefours en permanence, aussi la réservation du site propre est matérialisée par des obstacles pour passer progressivement des simples couloirs réservés aux sites propres au sol. Le terme de site propre au sol est utilisé pour des solutions qui nécessitent des investissements notables. Des séparations physiques infranchissables sur des itinéraires complets de lignes ou au moins sur des tronçons de grande longueur, signalisation horizontale et verticale, des dispositifs de prise en compte et de régulation des feux de croisement, etc., doivent être mis en place.

Nous trouvons différentes catégories de site propre au sol.

### **3.4.3 Les sites propres en villes nouvelles**

Le site propre est indépendant de la circulation générale. Les interstations sont de l'ordre de 400 à 600 m et ne sont pas systématiquement hors voirie. La vitesse commerciale est ainsi plus réduite (25 à 40 km/h). La capacité de transport, si la circulation se fait sur une seule voie par sens, peut atteindre 5000 à 8000 passagers par heure et par sens (p/h/s).

De tels sites propres sont en service à Runcorn (GB), Evry, St Quentin en Yvelines.

### **3.4.4 Les sites propres sur voirie urbaine**

La protection des autobus n'est pas assurée sur toute la longueur de l'itinéraire. Les carrefours sont franchis à niveau en bénéficiant d'une certaine priorité. Les conflits sont plus ou moins fréquents selon que les autobus se situent en banlieue, en périphérie du centre ou dans le centre, leur vitesse commerciale peut varier de 18 à 25 km/h (18 km/h sur une ligne prioritaire d'autobus à Marseille (interstation moyenne : 350 m), 22 km/h sur le Trans Val de Marne (interstation moyenne : 580 m), 25 km/h à Curitiba (interstation moyenne : 400 m)

to ensure and there are conflicts of circulation to the crossroads permanently, also the reservation of the exclusive right of way is materialized by obstacles to gradually pass from the simple corridors reserved to the exclusive rights of way on the ground. The term of exclusive right of way on the ground is used for solutions which require notable investments. Insurmountable physical separations on complete routes of lines or at least on sections of big length, carriageway and vertical markings, devices of taking into account and regulation of the dipped headlights, etc,

We find various categories of exclusive right of way on the ground.

### **3.4.3 Exclusive rights of way new downtown**

The exclusive right of way is independent of general circulation. The interstations are about 400 to 600 m and are not systematically except roadway system. The commercial speed is thus more reduced (25 to 40 km/h). The transport capacity, if circulation is done on only one way per direction, can reach 5000 to 8000 passengers per hour and direction (p/h/s). Such exclusive rights of way are in service with Runcorn (GB), Evry, St Quentin in Yvelines.

### **3.4.4 Exclusive rights of way on urban roadway system**

The protection of the buses is not ensured over the entire length of the route. The crossroads are crossed on level while profiting from a certain priority. The conflicts are more or less frequent according to whether the buses are located in suburbs, in periphery of the center or in the center, their block speed can vary from 18 to 25 km/h (18 km/h on a priority line of bus in Marseilles (average interstation: 350 m), 22 km/h on the Trans Valley of the Marne (average interstation: 580 m), 25 km/h with Curitiba (average interstation: 400 m)

### **3.4.5 Le site propre intégral**

#### ***3.4.5.1 Les sites propres indépendants dans les corridors routiers***

La séparation de la circulation générale est absolue. Les autobus empruntent une voie totalement séparée des voies réservées à la circulation générale installées dans le corridor. Les interstations sont longues (1 à 3 km).

Ces systèmes étant utilisés (essentiellement aux USA : projet de Dallas, Dayton, Pittsburgh et Milwaukee ) pour la desserte de la grande banlieue : la vitesse commerciale est de l'ordre de 30 à 60 km/h. La capacité de transport maximale, avec une seule voie par sens, peut atteindre, avec des autobus standards, 12000 p/h/s pour une interstation moyenne de l'ordre de 3 km.

#### ***3.4.5.2 Les sites propres sur autoroutes***

Il s'agit de sites propres permanents combinés à des voies rapides ou des voies réservées à contresens sur des voies rapides. Ces solutions sont développées surtout aux USA pour les liaisons banlieue - centre (à Washington et Los Angeles, à Lima au Pérou). Ainsi, le site propre sur l'autoroute Shirley Highway à Washington de 18 km de long à deux voies<sup>3</sup> soit 16,2 m d'emprise. Ce site propre est unidirectionnel et fonctionne dans le sens banlieue – centre le matin et dans le sens centre - banlieue le soir. Les autobus allant dans la direction opposée circulent sur l'autoroute qui n'est pas saturée.

L'utilisation de voies réservées à contresens est pratiquée à l'heure de pointe à New York, San Francisco et Boston.

---

<sup>3</sup> 2 x 3,6 m + 2 x 3 m de B.A.U. + 2 x 1,5 m de séparateurs soit 16,2 m d'emprise.

### **3.4.5 The integral exclusive right of way**

#### **3.4.5.1 independent exclusive rights of way in the road corridors**

The separation of general circulation is absolute. The buses borrow a completely separate way of the ways reserved from general circulation installed in the corridor. The interstations are long (1 to 3 km).

These systems being used (primarily in the USA: project of Dallas, Dayton, Pittsburgh and Milwaukee) for the service road of the large suburbs: the block speed is about 30 to 60 km/h. Maximum transport capacity, with only one way per direction, can reach, with standard buses, 12000 p/h/s for an average interstation of about 3 km.

#### **3.4.5.2 Exclusive rights of way on motorways**

They are permanent exclusive rights of way combined with expressways or ways reserved with misinterpretation on ways on expressways. These solutions are developed especially in the USA for the connections suburbs - center (in Washington and Los Angeles, in Lima in Peru). Thus, the exclusive right of way on the motorway Shirley Highway in 18 km length Washington to two ways is 16,2 m of influence. This exclusive right of way is one-way and functions in the direction suburbs - center the morning and in the direction centers - suburbs the evening. The buses going in the opposite direction circulate on the motorway which is not saturated. The

Ces sites propres ne comportant que peu d'arrêts, autorisent des vitesses commerciales et une capacité de transport très élevées (env. 60 km/h et jusqu'à 25000 p/h/s).

## 4. Le matériel roulant

Nous nous intéressons dans cette étude, aux sites propres et à la technique routière avec une exploitation de systèmes de transport urbain par autobus pour lesquels on distingue 3 catégories de véhicules et les trolleybus. Les systèmes intermédiaires ou tramways sur pneus seront examinés dans une autre étude consacrée au tramway moderne ou métro léger.

Le véhicule est la partie dominante du système de transport par autobus. Depuis le début de l'ère de l'automobile, toute l'attention a été portée sur son développement comme mode de transport. Il a été pendant longtemps caractérisé par un haut développement technique, opérationnel et économique.

Le véhicule, composant du système de transport, est si complexe dans son état actuel de développement que même une description par mot - clé des éléments particuliers irait au delà du champ de cette étude du système.

En conséquence, l'attention est seulement attirée vers des descriptions dans les différents chapitres de cette étude qui donne une image d'ensemble des véhicules actuels du système de transport par autobus et de leur développement prévisible dans les prochaines années.

use of reserved ways with misinterpretation is applied to the peak hour in New York, San Francisco and Boston.

These exclusive rights of way comprising only few stops, authorize block speeds and a very high transport capacity (approx. 60 km/h and up to 25000 p/h/s).

## 4. The rolling stock

We are interested in this study, with the exclusive rights of way and road engineering with an exploitation systems of urban transport per bus for which one distinguishes 3 categories of vehicles and the trolley buses. The intermediate systems or tyred trams will be examined in another study devoted to the modern tram or light subway.

The vehicle is the dominant part of the system of transport per bus. Since the beginning of the era of the car, all the attention was related to its development like means of transport. It was characterized for a long time by a high technical, operational and economic development.

The vehicle, component of the system of transport, is so complex in its current state of development that even a description by word - key of the particular elements would go beyond the field of this study of the system.

Consequently, the attention is only drawn towards descriptions in the various chapters of this study which gives an overall picture of the current vehicles of the system of transport per bus and their foreseeable development in the next years.

#### 4.1.1 L'autobus standard

Les véhicules de ce groupe constituent l'essentiel des parcs des réseaux de transport de surface à travers le monde et sont construits en très grande série. Leur utilisation se justifie par :

- Une capacité adaptée à de nombreux cas de desserte et de trafic, d'une capacité unitaire de 70 à 80 places par véhicule en appliquant la norme confort<sup>4</sup>, la plus fréquemment employée pour dimensionner la capacité d'une ligne.
- Un gabarit approprié dans la plupart des cas à la circulation sur voirie banalisée permettant une conduite relativement aisée et souple (2,50 m de largeur et de 11 à 12 m de longueur),
- Des coûts d'investissement et d'entretien inférieurs à ceux des autres familles dans la plupart des cas.

Un autobus dit de nouvelle génération en France a été commercialisé à partir de 1987 : deux versions étaient disponibles le R312 de RVI et le GX 317 réalisé par Heuliez Bus, disponible à partir de 1993. (Cetur, 1988) Ces autobus ont progressivement remplacé le PR 100 de RVI et le GX 107 d'Heuliez Bus.

Nous rappelons dans le tableau 8 ci-après quelques modèles actuels d'autobus standards exploités en Europe.

Les contraintes qui étaient fixées au cahier des charges de l'autobus R 312 sont rappelées ci-après :

- Un plancher plat sur toute la longueur du véhicule, sans marche ni pente,
- Un accès par deux marches au plancher situé à 570 mm du sol,

---

<sup>4</sup> 4 personnes au m<sup>2</sup>

#### 4.1.1 The standard bus

The vehicles of this group constitute the main part of the parks of the grid systems of surface throughout the world and are built in very great series.

Their use is justified by:

- a capacity adapted to many cases of service road and traffic, of a unit capacity from 70 to 80 places per vehicle by applying the standard comfort, most frequently employed to dimension the capacity of a line.
- a gauge suitable in the majority of the case with circulation on standardized roadway system allowing a relatively easy and flexible control flexible (2,50 m of width and 11 to 12 m length),
- maintenance lower and capital costs than those of the other families in the majority of the cases.

A bus known as of new generation in France was marketed since 1987: two versions were available R312 of RVI and the GX 317 carried out by Heuliez Bus, available since 1993. (Cetur, 1988) These buses gradually replaced PR 100 of RVI and the GX 107 of Heuliez Bus.

We recall in the table 8 hereafter some current models of standard buses used in Europe. The constraints which were fixed at the schedule of conditions of the bus R 312 are pointed out hereafter:

- a flat floor over the entire length of the vehicle, without walk nor slope,
- an access by two steps to the floor located at 570 mm of the ground,

- Une implantation possible pour 3 portes doubles,
- Des plates-formes entièrement dégagées devant chaque accès.

À partir de 1996, l'autobus Agora a remplacé le R 312, il offre une meilleure accessibilité. Le plancher est maintenant surbaissé à 340 mm et l'espace intérieur permet des déplacements intérieurs plus aisés.

La capacité unitaire varie de 77 à 82 places selon l'aménagement intérieur (4 personnes / m<sup>2</sup>, avec 2 ou 3 portes doubles pivotantes. Les puissances possibles sont de 152 kW (206 ch), 186 kW (253 ch) ou 221 kW (302 ch).

#### **4.1.2 L'autobus de grande capacité**

L'autobus de grande capacité se justifie lorsque le trafic augmente et dépasse un certain seuil.

Les deux types de véhicules de cette famille généralement rencontrés dans le monde sont l'autobus articulé (100 à 150 places) et l'autobus à étage. Certains exploitants estiment, face à l'accroissement du trafic constaté sur certaines lignes fortement chargées, qu'il est préférable d'utiliser des autobus articulés offrant un meilleur confort et absorbant plus aisément les hyper pointes de trafic, sans aggraver l'attente aux arrêts.

**Tableau 9 : Quelques modèles d'autobus articulés exploités en Europe**

#### **4.1.3 L'autobus de très grande capacité**

possible establishment for 3 double doors,

- platforms entirely removed in front of each access. Since 1996, the Agora bus replaced the R 312, it offers a better accessibility.

Since 1996, the Agora bus replaced the R 312, it offers a better accessibility. The floor is now flattened to 340 mm and interior space allows easier interior displacements. The unit capacity varies from 77 to 82 places according to interior installation (4 people/ m<sup>2</sup>, with 2 or 3 swivelling double doors. The possible powers are 152 kw (206 CH), 186 kw (253 CH) or 221 kw (302 CH).

#### **4.1.2 The bus of great capacity**

The bus of great capacity is justified when the traffic increases and exceeds a certain threshold.

The two types of vehicles of this family generally met in the world are the articulated bus (100 to 150 places) and the bus on floor. Certain owners estimate, vis-a-vis with the increase in the traffic noted on certain lines strongly charged, that it is preferable to use articulated buses offering a better comfort and more easily absorbing the hyper points of traffic, without worsening waiting with the stops.

**Table 9: Some models of articulated buses used in Europe**

#### **4.1.3 buses of very great capacity**

Avec une capacité unitaire de 215 places<sup>s</sup> env., le mégabus est destiné à la desserte des axes fortement chargés d'un réseau. Le mégabus est composé de trois caisses réunies par deux articulations et reposant sur quatre - essieux : le premier essieu est directeur, les trois autres sont moteurs. Sa maniabilité en fait un véhicule capable de s'insérer dans le trafic général aussi bien que de circuler sur un site protégé : il circule sur les lignes 7/8 du réseau de Bordeaux depuis 1989 (9 mégabus transportent 23700 passagers par jour. D'autre part, 29 mégabus de 270 places sont exploités sur le réseau de Curitiba transportant 115 000 passagers par jour.

**Tableau 10 : Les autobus bi - articulés exploités en France et au Brésil**

## 4.2 Le trolleybus

Le trolleybus s'est développé en Europe après la première guerre mondiale, à une époque où sa technologie était encore en avance sur celle de l'autobus urbain. Il disparaissait progressivement des villes françaises et européennes sauf en Suisse. Après les chocs pétroliers et la prise en compte des problèmes d'environnement, le trolleybus est revenu à l'ordre du jour. Il n'offre pas un service fondamentalement différent, de celui offert par l'autobus. Sa différence essentielle avec l'autobus se situe au niveau du mode de traction ; le trolleybus est mû en effet par un moteur électrique et se caractérise par un équipement à bord, un pantographe et des installations fixes aériennes, une ligne bifilaire pour chaque voie.

With a unit capacity of 215 places approx., the mégabus is intended for the service road of the axes strongly in charge of a network. The mégabus is composed of three cases joined together by two articulations and resting on four - axles: the first axle is a director, the three others are driving. Its handiness makes a vehicle able of it to form part of the general traffic as well as to circulate on a protected site: it circulates on lines 7/8 of the network of Bordeaux since 1989 (9 mégabus transport 23700 passengers per day. In addition, 29 mégabus of 270 places are exploited on on the network of Curitiba transporting 115 000 passengers per day.

**Table 10: The buses Bi - articulated used in France and in Brazil**

## 4.2 The trolley bus

The trolley bus developed in Europe after the First World War, at one time when its technology was still advances some on concealment on that of the urban bus. It disappeared gradually from the French and European cities except in Switzerland. After the oil crises and the taking into account of the problems of environment, the trolley bus returned on the agenda. It does not offer a basically different service, of that offered by the bus. Its essential difference with the bus is at the level of the mode of traction; the trolley bus is mû indeed by an electric motor and is characterized by equipment on board, pantograph and air fixed installations, a two-wire line for each track.

---

<sup>s</sup> 8 personnes debouts au m<sup>2</sup>

Le système de prise de courant électrique tend à limiter la liberté de mouvement du trolleybus, rend impossible le dépassement des trolleybus entre eux sauf si un véhicule en panne déconnecte ses perches de la ligne électrique laissant ainsi les perches du trolleybus qui suit au contact de la ligne. Nous voyons tout l'intérêt pour une exploitation efficace des trolleybus de les faire circuler dans des couloirs ou en site propre pour éviter les stationnements gênants des automobiles ou autres véhicules de livraison et les ralentissements des trolleybus.

L'implantation du site propre doit se faire au droit des lignes bifilaires d'alimentation électrique. Les fils d'alimentation, souvent inesthétiques\*, participent avec le site propre à une meilleure lisibilité et à l'image du système de transport dans la ville.

Son silence de fonctionnement, l'absence de pollution et ses meilleures performances sont appréciées dans les villes aux profils routiers escarpés. Son " image " est en général bien meilleure aux yeux des usagers que celle de l'autobus mais il est nettement plus coûteux à l'investissement.

Cinq réseaux français ont gardé une partie de leur exploitation en trolleybus (Lyon, Marseille, Grenoble, St Etienne, Limoges) et ont été rejoints en 1982 par Nancy qui a mis en service trois lignes de trolleybus articulés bi modes remplacées par le tramway sur pneus (TVR) en 2001.

Il y a de nos jours 350 réseaux de trolleybus à travers le monde dont 185 réseaux dans l'ancienne Union Soviétique et 6 lignes en construction, 58 en Europe de l'Est et 8 lignes en construction, 46 en Europe de l'Ouest, 25 en Chine, 9 en Amérique du Nord, 10 en Amérique Centrale et du Sud et

---

\* surtout aux carrefours avec les aiguillages

The system of electric socket-outlet tends to limit the freedom of movement of the trolley bus, makes impossible the passing of the trolley buses between them except if a broken down vehicle disconnects its poles from the powerline thus leaving the poles of the trolley bus which follows in contact with the line.

We see all the interest for an effective exploitation of the trolley buses to make them circulate in corridors or in exclusive right of way to avoid the awkward parkings of the cars or other vehicles of delivery and the decelerations of the trolley buses.

The establishment of the exclusive right of way must be done with the right of the two-wire lines of power supply. The wire of food, often unaesthetic, take part with the exclusive right of way in a better legibility and the image of the system of transport in the city.

Its silence of operation, the absence of pollution and its best performances are appreciated in the cities with the escarpés road profiles. Its "image" is in general much better with the eyes of the users than that of the bus but it is definitely more expensive with the investment.

Five French networks kept a part of their exploitation in the trolley bus (Lyon, Marseilles, Grenoble, St Etienne, Limoges) and were joined in 1982 by Nancy which brought into service three lines of articulated trolley buses Bi modes replaced by the tyred tram (TVR) in 2001.

There are nowadays 350 networks of trolley bus throughout the world including 185 networks in the old Soviet Union and 6 lines in construction, 58 in Eastern Europe and 8 lines in construction, 46 in Western Europe, 25 in China, 9 in North America, 10 in Central America and of the South and 8



8 en Asie de l'Est. De 1990 à 2000, 29 systèmes ont été arrêtés et 37 nouveaux ont été mis en service.

Depuis 1980, 101 nouveaux systèmes de trolleybus ont été mis en service. Alors que de nombreux systèmes anciens de l'ancienne Union soviétique sont sur le point d'arrêter leur exploitation en raison de leurs difficultés économiques dans les nouvelles structures, il y a plusieurs systèmes en phase d'expansion avec commandes de nouveaux véhicules. (Blay, 2000)

Malgré les nombreuses avancées obtenues dans la technologie du moteur diesel et des traitements de gaz d'échappement, les autobus diesel continueront encore à émettre des gaz polluants. Ces avancées et les normes améliorées du carburant vont certainement réduire la quantité globale de polluants pour un nombre donné de véhicules. Mais dans les corridors urbains très denses, est-ce acceptable ? On doit avoir en tête que le stationnement des autobus aux arrêts, aux carrefours à feux, le fonctionnement de l'air conditionné, la mise en charge des batteries, la transmission du moteur produisent des émissions polluantes qui affectent l'environnement de ces corridors. La seule alternative valable qui ne pollue pas au niveau de la rue est le trolleybus.

Bien sûr il y a la pollution due à la production d'électricité à partir de centrale au charbon ou au fioul mais la pollution provenant des véhicules diesel au niveau de la rue comporte un risque beaucoup plus important pour la santé. Par ailleurs la production d'électricité provient de centrale au gaz ou nucléaire et beaucoup plus à l'avenir, ainsi les émissions provenant de ces centrales ne seront pas aussi sérieuses,

8 in Asia of the East. From 1990 to 2000, 29 systems were stopped and 37 new was brought into service.

Since 1980, 101 new systems of trolley bus were brought into service. Whereas many old systems of the old Soviet Union are about to stop their exploitation in spoke their economic difficulties in the new structures, there are several systems in phase of expansion with orders of new vehicles. (Blay, 2000)

In spite of the many projections obtained in the technology of the diesel engine and the treatments of gas D ` exhaust, the diesel buses will still continue to emit polluting gases. These projections and the standards improved of the fuel certainly will reduce the total quantity of pollutants for a given number of vehicles. But in is the very dense urban corridors, acceptable? One must have at the head that the parking of the buses to the stops, with the signal-controlled junctions, the operation of the air conditioning, loading of the batteries, the transmission of the engine produce pollutant emissions which affect the environment of these corridors. The only valid alternative which does not pollute on the level of the street is the trolley bus.

Of course there is pollution due to the production of electricity starting from power station to coal or with the fuel but pollution coming from the vehicles diesel on the level of the street involves a health risk much more important for the health. In addition, the production of electricity comes from power station to gas or nuclear power and much in the future, thus the emissions coming from these power stations will not be also serious,

il faut constater aussi que les rendements de ces centrales sont meilleurs que ceux des moteurs diesels et que les mesures de contrôles sont plus fiables sur ces centrales que sur les véhicules en général. Une étude effectuée par l'Université de Hong Kong montre que l'énergie totale consommée par un trolleybus est environ la moitié celle d'un autobus diesel lorsque la quantité est mesurée en "énergie par passager et par voyage". En conséquence l'effet de l'ensemble de la pollution est de très loin plus basse pour le trolleybus que pour un autobus diesel.

#### **4.2.1 Les aspects négatifs des trolleybus**

Il serait irréaliste de penser qu'il n'y a pas de facteurs négatifs au système de trolleybus. Les domaines suivants peuvent entraîner des difficultés :

d'investissement élevés,	- Coûs
d'exploitation,	- Coûts
d'exploitation,	- Rigidité
sur l'exploitation des bus existants	- Influence
visuelle des fils aériens.	- Intrusion

##### **4.2.1.1 Coût d'investissement élevé**

Des indications actuelles il apparaît qu'un trolleybus coûte 70 % de plus qu'un autobus équivalent. Cependant la durée de vie d'un trolleybus est de 20 ans contre 14 ans pour l'autobus diesel. La dépréciation annuelle n'est que de 19 % supérieur à celle de l'autobus. L'installation de l'énergie électrique et des lignes aériennes sont sans aucun doute onéreuses comparées aux autobus normaux. Cependant si le réseau est

it should be also noted that the outputs of these power stations are better than those of the diesel engines and than measurements of controls are more reliable on these power stations than on the vehicles in general. A study carried out by the University of Hong Kong shows that the total energy consumed by a trolley bus that is approximately half a diesel bus when the quantity is measured in "energy by passenger and voyage". Consequently the effect of the whole of pollution is lower by far for the trolley bus than for a diesel bus.

#### **4.2.1 The negative aspects of the trolley buses**

It would be unrealistic to think that there are no negative factors with the system of trolley bus. The following fields can involve difficulties:

- Coûs of investment raised,
- Costs of exploitation,
- Rigidity of exploitation,
- Influence on the exploitation of the existing buses
- visual Intrusion of air wire.

##### **4.2.1.1 High capital cost**

Current indications it appears that a trolley bus costs 70 % more than one equivalent bus. However the lifespan of a trolley bus is 20 years against 14 years for a diesel bus. The annual depreciation is only 19 % higher than that of the bus. The electric power plant and air lines without any doubt expensive are compared with the normal buses. However if the network is

utilisé intensément et longtemps, ses coûts peuvent être amortis sur de nombreuses années. Avec un entretien raisonnable, la durée de vie du réseau d'énergie ne semble pas avoir une durée de vie déterminée et il pourrait être utilisé indéfiniment. La période minimum réaliste d'exploitation pour un système de trolleybus serait de vingt ans, mais ceci est encore moins que pour un tramway ou un système de chemin de fer.

#### **4.2.1.2 Les coûts d'exploitation**

Le coût de maintenance d'un trolleybus moderne est certainement plus bas que pour un autobus diesel ainsi à San Francisco lorsque le diesel coûte 100, le trolley ne coûte que 68.

Le coût de maintenance des fils de contact et des sous-stations est un surcoût qui doivent être pris en charge par l'exploitant. Cependant, même ceci étant pris en compte, les coûts globaux de la maintenance du système de trolleybus et des véhicules sont au moins 20 % inférieur à ceux des autobus diesel, sur la base de l'expérience ici et là.

Les coûts comparatifs du carburant sont grandement influencés par la dispense de taxes aux compagnies d'autobus. Si les compagnies payaient pleine taxe, les coûts d'énergie pour les deux types seraient assez semblables. Ce serait alors l'opportunité pour l'administration d'encourager l'usage des trolleybus (pour des raisons d'environnement) en fournissant une assistance financière équivalente à la réduction de taxe accordée aux autobus diesels.

#### **4.2.1.2 La rigidité**

On perçoit souvent que les trolleybus ne peuvent circuler qu'en file indienne sur des lignes fixes. Cependant, si ceci était vrai à une époque, l'utilisation d'aiguillages modernes, contrôlés à distance signifie qu'il

used intensely and a long time, its costs can be amortized over many years. With a reasonable maintenance, the lifespan of the network of energy does not seem to have a given lifespan and it could be used indefinitely. The realistic period minimum of exploitation for one for a system of trolley bus would be twenty years, but this is even less than for a tram or a system of railroad.

#### **4.2.1.3 Costs of exploitation**

The cost of maintenance of a modern trolley bus is certainly lower than for a diesel bus thus in San Francisco when the diesel costs 100, the trolley costs only 68.

The cost of maintenance of wire of contact and the sub-stations is a overcost which must be dealt with by the owner.

Even, this being taken into account, the total costs of the maintenance of the system of and of the vehicles are at least 20 % lower than those of the diesel bus, on the basis of experiment here and there. The comparative costs of the fuel are largely influenced by the exemption of taxes to the companies of bus. If the companies paid full tax, the costs of energy for both the two types would be rather similar. It would be then the advisability for the administration of encouraging the use of the trolley buses (for reasons of environment) by providing a financial assistance equivalent to the reduction of tax granted to the buses diesels.

#### **4.2.1.2 Rigidity**

One often perceives that the trolley buses can circulate only in Indian file on fixed lines. However, if this were true at one time, the use of modern shuntings, controlled remotely means that it

est aisément possible d'effectuer des manœuvres de dépassement aussi bien que l'utilisation d'arrêts séparés aux stations.

Lorsqu'une déviation de la ligne est inévitable, amenant une interruption de l'alimentation en énergie à l'exploitation des trolleybus, les véhicules peuvent alors utiliser sur une courte distance le mode de propulsion auxiliaire.

#### **4.2.1.3 L'intrusion visuelle des lignes aériennes**

Il n'est pas possible de rendre les fils complètement invisibles, mais avec un bon design et l'utilisation de composant de haute qualité, leur impact visuel peut être réduit.

De grandes simplifications pourraient être obtenues si les poteaux supports de l'éclairage public pouvaient être utilisés comme support des fils d'alimentation des trolleybus. Ceci demanderait une meilleure qualité de l'éclairage à un coût supplémentaire minimum. Là où cela serait possible, les fils seraient accrochés en façade, ce qui réduirait d'autant le nombre de supports.

#### **4.2.2 Avantages des trolleybus**

Les principaux avantages relatifs à l'environnement sont :

Consommation d'énergie et efficacité énergétique

- Des performances améliorées,
- Pas très sensible aux coûts du pétrole brut,
  - Gaspillage réduit,
  - Le faible niveau de bruit,
  - Le confort de voyage
  - Pas d'émissions polluantes sur la rue.

is easily possible to carry out man?uvres of going beyond as well as the use of stops separated at the stations.

When a deviation of the line is inevitable, bringing an interruption of the energy supply to the exploitation of the trolley buses, the vehicles can then use on a short distance auxiliary mode of propulsion.

#### **4.2.1.3 The visual intrusion of the air lines**

It is not possible to make wire completely invisible, but with a good design and the use of high-grade component, their visual impact can be reduced.

Great simplifications could be obtained if the posts supports of the street lighting could be used like support of wire of power supply of the trolley buses. This would require a better quality of lighting at a minimum additional cost. Where that would be possible, the wire would be hung in frontage, which would reduce by as much the number of supports.

#### **4.2.2 Advantages of the trolley buses**

The principal advantages relating to the environment are:

- Consumption of energy and energy effectiveness
- Improved performances,
- Not very sensitive to the costs of the crude oil,
- reduced Wasting,
- the low level of noise,
- the comfort of voyage
- No pollutant emissions on the street.

#### **4.2.2.1 Consommation d'énergie et efficacité énergétique**

La consommation moyenne des trolleybus largement acceptée en Amérique du Nord est de 3,0 kWh par km parcouru, comprenant les pertes en transmission. La moyenne mesurée dans 4 villes Nord Américaines varie entre 2,5 et 2,7 kWh par km. Cette consommation moyenne des trolleybus se traduit à environ 10 megajoules d'énergie. La consommation d'un autobus diesel standard dans des conditions d'exploitation similaires est d'environ de 24 megajoules, ce qui signifie que le trolleybus est plus de deux fois efficace en énergie que le bus diesel. Le trolleybus l'emporte en économie d'énergie, en particulier pour l'énergie d'origine non renouvelable.

#### **4.2.2.2 Les performances améliorées**

Les trolleybus avec les développements récents des chaînes de traction ont des performances équivalentes sinon supérieures aux autobus diesel, pas nécessairement dans les vitesses de pointe mais certainement dans la phase d'accélération, dans la possibilité de grimper les pentes ce qui peut être important dans certaines agglomérations, alors que l'utilisation des performances de vitesse de pointe est rarement nécessaire.

Un autobus diesel moderne avec un moteur d'une puissance de 224 kW qui est réduite par perte de transmission à environ 190 kW, tandis que le trolleybus aura une capacité du moteur de traction de 230 kW qui offre 215 kW aux roues motrices. Le trolleybus surpasse l'autobus diesel équivalent avec une différence considérable.

#### **4.2.2.1 Consumption of energy and energy effectiveness**

The average consumption of the trolley buses largely accepted in North America east of 3,0 kWh per traversed km, including/understanding the losses in transmission. The average measured in 4 American North cities varies between 2,5 and 2,7 kWh per km. This average consumption of the trolley buses is translated to approximately 10 megajoules energy. The consumption of a standard bus diesel under similar conditions of operating is of approximately of 24 megajoules, which means that the trolley bus is more the twice effective one in energy than the bus Diesel. The trolley bus carries it in energy saving, in particular for the nonrenewable energy of origin.

#### **4.2.2.2 Improved performances**

The trolley buses with the recent developments of the chains of traction have performances equivalent if not higher than the diesel bus, not necessarily in the dash speeds but certainly in the phase of acceleration, in the possibility of climbing the slopes what can be important in certain agglomerations, whereas the use of the performances dash speed is seldom necessary.

A modern diesel bus with an engine of a power of 224 kw which is reduced by loss of transmission to approximately 190 kw, while the trolley bus will have a capacity of the engine of traction of 230 kw which offers 215 kw to the driving wheels. The trolley bus exceeds the diesel bus are equivalent with one a considerable difference.

Le coût d'exploitation (hors amortissements) du trolleybus (standard et articulé) est du même ordre de grandeur que celui de l'autobus correspondant (le surcoût dû à l'entretien des lignes aériennes et sous stations est compensé par le plus faible coût du poste énergie). En incluant les amortissements des véhicules et des installations fixes, le trolleybus fait apparaître un surcoût global de 10 à 20% à mettre en balance avec les avantages propre à la traction électrique.

#### **4.2.2.3 *Pas très sensible au prix du pétrole brut***

Comme nous le constatons souvent les prix du brut peuvent monter très rapidement, ceci impose des coûts supplémentaires à tous les exploitants d'autobus. Alors que les réserves de brut ne sont pas menacées dans un futur proche, il y a peu de doute que les réserves futures seront plus chères à obtenir, et comme la demande continue à grimper, le prix de tous les produits dérivés grimperont.

Avec de l'énergie électrique d'origine diversifiée, et même dans le futur l'opportunité de sources durables comme le vent, la marée, le coût de l'électricité devrait rester plus stable que le fioul.

#### **4.2.2.4 *Un gaspillage réduit***

L'utilisation intensive des autobus, oblige à changer l'huile du moteur, l'huile de la boîte à vitesse et les filtres à des intervalles aussi faibles que 6 semaines. Éliminer ces équipements constitue une contrainte pour l'environnement quoique la réutilisation de l'huile peut partiellement améliorer le problème. Au contraire un trolleybus ne demande très peu de changement régulier d'huile. Peut être le seul changement significatif est le patin du frotteur en carbone laissant des petites quantités de poussière de

The cost of exploitation (except depreciation) of the trolley bus (standard and articulated) is of the same order of magnitude as that of the bus corresponding (the overcost due to the maintenance of the air lines and under stations is compensated by the lowest cost of energypost). By including depreciation of the vehicles and the fixed installations, the trolley bus reveals a total overcost from 10 to 20% to put out of balance with the advantages clean at the electric traction.

#### **4.2.2.3 Not very sensitive to the price for the crude oil**

As we often note it the oil prices can go up very quickly, this imposes additional costs to all the owners of bus. Whereas the crude reserves are not threatened in an immediate future, there is little doubt that the future reserves will be more expensive to obtain, the price of all the derived products will climb. With electric power of diversified origin, and even in the future durable source the appropriateness like the wind, the tide, the cost of electricity should remain more stable than the fuel.

#### **4.2.2.4 A reduced wasting**

The intensive use of the buses, obliges to change the oil of the engine, the oil of limps at speed and the filters with intervals as weak as 6 weeks. To eliminate this equipment constitute a constraint for the environment though the re-use of oil can partially improve the problem. On the contrary a trolley bus does not require very little regular oil change. Can be the only significant change is the shoe of the carbon wiper leaving of the small quantities of carbon

carbone, particulièrement aux jonctions et aux aiguillages sur les fils aériens.

#### 4.2.2.5 Le faible niveau de bruit

Alors que les autobus diesel sont devenus sensiblement moins bruyant ces dix dernières années, il semble peu vraisemblable qu'il y ait encore des gains significatifs. La plus grande partie du bruit à vitesse normale vient du moteur et de l'échappement. Puisqu'un trolleybus n'a aucun de ces émissions de bruit, les composants les plus bruyants sont le compresseur à air qui ne fonctionne que par intermittence, les compresseurs à air conditionnés et les ventilateurs, le bruit des pneus, qui ne se remarque à des vitesses élevées. Une grande flotte de trolleybus ne produira qu'une pollution sonore minime. Ils peuvent ainsi être exploités tard dans la nuit à proximité de l'habitat sans déranger.

#### 4.2.2.6 Le confort de déplacement

Les trolleybus ne nécessitent pas de boîte à changement de vitesses, ils peuvent accélérer beaucoup plus en douceur qu'un autobus à 3 ou 4 vitesses, et toute application irrégulière est amortie électroniquement pour éviter l'inconfort des passagers. Ils peuvent freiner en récupérant l'énergie ou en la dispersant ce qui a le même effet que le ralentisseur hydraulique ou électrique maintenant utilisé sur tous les autobus.

#### 4.2.2.6 Aucun gaz polluant dans la rue

La volonté principale d'introduire le trolleybus dans une ville est le fait incontournable que sous une exploitation normale il n'y a pas de pollution par gaz d'échappement dans les rues qu'il parcourt.

### 4.2.3 Panorama de la technologie du trolleybus aujourd'hui

dust, particularly with the junctions and shuntings on air wire.

#### 4.2.2.5 The low level of noise

Whereas the diesel buses became appreciably less noisy these ten last years, it seems not very probable that there are still significant profits. The greatest part of the noise at normal speed comes from the engine and the exhaust.

Since a trolley bus does not have any of these emissions of noise, the noisiest components are the air compressor which functions only intermittently, the conditioned air compressors and the ventilators, the noise of the tires, which is not noticed at high speeds. A large fleet of trolley bus will produce only one tiny sound pollution. They can thus be exploited late in the night near the habitat without disturbing.

#### 4.2.2.6 The comfort of displacement

The trolley buses do not require limps with shifting of speed, they can accelerate much more carefully than a bus with 3 or 4 speeds, and any irregular application is deadened electronically to avoid the discomfort of the passengers. They can slow down by recovering energy or by dispersing it what has the same effect as the hydraulic or electric speed reducer now used on all the buses.

#### 4.2.2.6 No noxious gas in the street

The principal will to introduce the trolley bus into a city is the fact impossible to circumvent that under a normal exploitation there is no pollution by exhaust fumes in the streets which it traverses.

#### 4.2.3 Panorama of the technology of the trolley bus today

Autour de 1980, un nouveau concept appelé bus bimode est devenu réalité. Les autobus bimodes peuvent être utilisés également sous l'une des deux formes de traction, de là leur nom. Le moteur peut soit être utilisé pour faire tourner une génératrice ou directement un essieu. Depuis que les bus bimodes peuvent opérer indépendamment de la caténaire, des infrastructures onéreuses sont seulement nécessaires sur des axes à fort trafic. De manière à faciliter le changement en conduite autonome du mode diesel au mode trolleybus, les perches du trolley se branchent automatiquement aux lignes de contact. Ceci se fait en général aux stations du trolleybus et prend entre 10 et 15 secondes.

Dans le cas de l'autobus bimode les performances sous chaque mode diesel ou électrique sont égales. Le deuxième système de traction signifie que le poids total s'est accru par rapport à un véhicule avec un seul système de traction au détriment de la capacité unitaire des véhicules. Pour améliorer l'efficacité du coût d'exploitation de ces autobus, les autobus bimodes sont en général à deux caisses, articulés.

Traditionnellement, les trolleybus utilisent des moteurs à courant continu. Les premiers véhicules utilisaient une régulation rhéostatique de la vitesse à travers une commande électromécanique des contacteurs. Des améliorations ont permis de changer la commande électromécanique en une commande à partir d'équipement transistorisés. La régulation de la vitesse à partir d'un hacheur de puissance est une technologie récente qui est maintenant adoptée sur la plupart des

véhicules. C'est une technologie de puissance plus efficiente.

Around 1980, a new concept called dual-mode bus became reality. The dual-mode buses can be also used under one of the two forms of traction, from there their name. The engine can be used to make turn a generator or directly an axle. Since the bimodal buses can operate independently of the overhead line, of the expensive infrastructures are only necessary on axes for strong traffic. So as to facilitate the change in autonomous control of the diesel mode to the trolley bus mode, the poles of the trolley automatically connect with the contact systems.

This is done in general at the stations of the trolley bus and takes between 10 and 15 seconds. In the case of the dual-mode bus the performances under each diesel or electric mode are equal. The second system of traction means that the total weight increased compared to a vehicle with only one system of traction to the detriment of the unit capacity of the vehicles. To improve the effectiveness of the cost of exploitation of these buses, the dual-mode buses with two cases, are in general articulated. Traditionally, the trolley buses use engines with D.C. current.

The first vehicles used a rheostatic regulation the speed through an electromechanical order of the contactors. Improvements made it possible to change the electromechanical order into an order starting from equipment transistorized. The regulation speed starting from a chopper of power is a recent technology



which is now adopted on the majority of the vehicles. It is a technology of more efficient power.

#### **4.2.2.6 Les avancées récentes**

La technologie du transport a évolué depuis l'apparition des trolleybus. Aujourd'hui un haut degré d'intégration des différents modes de transport est possible grâce à l'utilisation de systèmes d'information sophistiqués. L'information sur la circulation peut être collectée et transmise à ceux qui l'utilise. Par exemple, les systèmes de positionnement tel que le GPS<sup>7</sup> peut être utilisé pour connaître la position des véhicules en relation avec des ordinateurs, les arrêts peuvent être annoncés automatiquement. Les données peuvent être utilisées d'une manière plus efficaces.

#### **4.2.2.6 Les planchers bas**

Tous les trolleybus modernes sur le marché européen offrent des planchers bas et / ou l'agenouillement ce qui facilite l'entrée et la sortie des véhicules. Ceci est un avantage évident pour les personnes âgées, les parents avec des poussettes, les personnes à mobilité réduite sur chaise roulante. Outre la satisfaction des clients, le plancher bas contribue aussi à une plus grande productivité avec la diminution du temps d'échange en station.

#### **4.2.2.7 Les systèmes de guidage**

Les systèmes de guidage sont utilisés pour aider les conducteurs à conduire le véhicule. Dans le futur on peut imaginer une conduite en automatique des véhicules sans conducteur. De nos jours, les systèmes de guidage sont utilisés pour accroître la vitesse des trolleybus,

#### **4.2.2.6 The recent projections**

The technology of transport evolved/moved since the appearance of the trolleybus. Today a high level of integration of the various means of transport is possible thanks to the use of sophisticated information systems. Information on circulation can be collected and transmitted to those which uses it. For example, systems of positioning such as the GPS can be used to know the position of the vehicles in relation to computers, the stops can be announced automatically. The data can be used in a manner more effective.

#### **4.2.2.6 Low floors**

All the modern trolley buses on the European market offer low floors and/or kneeling what facilitates the entry and the exit of the vehicles. This is an obvious advantage for the old people, the parents with poussettes, the people with mobility reduced on wheelchair. In addition to the satisfaction of the customers, the low floor also contributes to a greater productivity with the reduction in the time of exchange in station.

#### **4.2.2.7 Systems of guidance**

The systems of guidance are used to help the drivers to drive the vehicle. In the future one can imagine a control automatically vehicles without driver. Nowadays, the systems of guidance are used to increase the speed of the trolley buses,

---

<sup>7</sup> GPS : Global Positioning System

permettre un positionnement avec une lacune minimale le long des quais des stations et améliorer la sécurité lors des montées / descentes. Le guidage permet aussi une meilleure insertion de la plate-forme des voies, l'emprise nécessaire se réduit avec le guidage au gabarit dynamique des véhicules auquel on ajoute des lames d'air minimales.

On trouve des systèmes de guidage du type filoguidé, par caméra et traitement d'images et suivi de lignes parallèles situées dans l'axe du véhicule, par un rail central sur lequel appuient des galets situés sous le châssis du véhicule ou par deux rails latéraux et deux galets latéraux (système O-Bahn).

#### **4.2.2.6 La traction par moteur roue**

Ce type de traction s'effectue à partir d'un moteur dans chaque roue. La puissance s'applique directement sans changement de vitesses ou l'intervention de systèmes de transmission. Ceci réduit la perte d'énergie et l'encombrement de la motorisation. La traction par moteur roue est idéale pour être intégrée à un système de freinage avec récupération. Quand le moteur électrique ne tracte pas la roue, il sert de génératrice permettant l'action de freinage en même temps que la production d'électricité. Cette électricité peut être utilisée pour charger des batteries, renvoyée dans le réseau d'alimentation du trolleybus ou utilisée pour le chauffage.

L'élimination de la boîte à vitesse et la traction électrique rendent les déplacements plus confortables. La demande de plus de confort et d'accessibilité par les clients à mobilité réduite a introduit le concept du plancher bas. Il s'applique aux autobus en général, mais combiné aux moteurs roues il donne l'avantage au trolleybus.

to allow a positioning with a minimal gap along the quays of the stations and to improve safety at the time of the rises/descents. Guidance allows also a better insertion of the platform of the ways, the influence necessary is reduced with guidance for the dynamic gauge of the vehicles which one adds minimal blades of air. One finds systems of guidance of the wire-guided type, by camera and image processing and follow-up of parallel lines located in the axis of the vehicle, by a central rail on which rollers located under the frame of the vehicle press or by two side rails and two side rollers (O-Bahn system).

#### **4.2.2.6 Traction by engine coils**

This type of traction is carried out starting from an engine in each wheel. The power applies directly without shifting of speed or the intervention of systems of transmission.

This reduces the loss of energy and the obstruction of the motorization. Traction by engine wheel is ideal to be integrated into a brake with recovery. When the electric motor does not tractor draw the wheel, it is used as generator allowing the effect braking at the same time as production of electricity. This electricity can be used to charge of the batteries, returned in the feeder system of the trolley bus or used for the heating.

The elimination of the box at speed and the electric traction make displacements more comfortable. The request of more than comfort and accessibility by the customers with reduced mobility introduced the concept of the low floor. It applies to the buses in general, but combined with the engines wheels it gives the advantage to the trolley bus.

Éliminer la chaîne de traction des systèmes conventionnels signifie que la nouvelle idée du plancher bas peut être menée à son extrême avec un plancher entièrement plat. Dans les autres systèmes des pentes et des angles sont impossibles à éviter.

Une conséquence intéressante de l'utilisation des moteurs roues est que l'approche traditionnelle de construire des autobus avec une chaîne de traction classique ajoutée à un châssis peut être abandonnée. Au contraire, une approche modulaire où le véhicule est construit comme une structure intégrale et les pièces sont fixées au cadre peut effectivement être adopté. Ceci signifie que les nouveaux projets sont possibles, par exemple, des sièges suspendus à la structure, libérant l'espace au sol pour faciliter le nettoyage.

#### **4.2.2.7 Moteurs à induction à courant alternatif**

De nos jours la plupart des trolleybus sont passés des moteurs à courant continu aux moteurs à courant alternatif. Le principal avantage des moteurs à courant alternatif sur les moteurs à courant continu est la réduction de poids, des composants moins onéreux et une meilleure régulation de la vitesse. Ces moteurs peuvent être commandés précisément par l'électronique de puissance moderne. La puissance des moteurs à courant continu est commandée par des systèmes rhéostatiques. Les moteurs à courant alternatifs sont plus efficaces à charge partielle.

#### **4.2.2.8 La caténaire**

Un des arguments contre les trolleybus est l'impact visuel des fils aériens. Cependant, le développement de nouveaux matériaux et des techniques de suspension permettent d'obtenir un réseau meilleur et plus léger. De

nos jours l'acier inoxydable clair est utilisé pour le réseau aérien

eliminate the chain from traction of the conventional systems means that the new idea of the low floor can be carried out to its extreme with an entirely flat floor. In the other systems of the slopes and angles are impossible to avoid.

An interesting consequence of the use of the engines wheels is that the traditional approach to build buses with a traditional chain of traction added to a frame can be abandoned. On the contrary, a modular approach where the vehicle is built like a structure integral

and the parts are fixed at the framework can be adopted indeed. This means that the new projects are possible, for example, of the seats suspended on the structure, releasing space on the ground to facilitate cleaning.

#### **4.2.2.7 Engines with induction with AC current**

Nowadays the majority of the trolley buses passed from the engines to D.C. current to the engines to AC current. The principal advantage of the engines with AC current on the engines with D.C. current is the reduction of weight, the components cheaper and a better regulation of the speed.

These engines can be ordered precisely by the modern electronics of power. The engine output with D.C. current is ordered by rheostatic systems. The engines with alternating current are more efficient with partial load.

#### **4.2.2.8 The overhead line**

One of the arguments against the trolley buses is the visual impact of air wire. However, the development of new materials and the techniques of suspension make it possible to obtain a better and lighter network. Nowadays the stainless steel clearly is used for the overhead grid

comme la façon de réduire l'impact visuel des fils. Les aiguillages sont aussi fabriqués en acier inoxydable pour les mêmes raisons.

### **4.2.3 Le point de vue des utilisateurs**

#### **4.2.3.6 Les clients**

L'autobus bimode a un avantage vu du client. Le bimode peut aller des banlieues jusqu'au centre de la ville et même dans les allées commerciales et les stations souterraines. Ceci a été montré grandeur réelle à Essen. C'est un gros avantage pour les clients du transport public d'éviter les changements et les temps d'attente. De l'expérience d'Arnhem, la visibilité du réseau de trolleybus et les niveaux bas de bruit ont contribué à accroître la part de marché du marché public.

La possibilité d'introduire les concepts à plancher bas et le transport de grande capacité pourrait être un concept gagnant pour les nouveaux systèmes de trolleybus de ce siècle.

#### **4.2.3.7 Les exploitants**

La dérégulation des marchés comme celui de l'électricité, du transport public, des travaux publics, crée de nouveaux challenges mais aussi de nouvelles opportunités d'activités. Les services publics traditionnels seront remplacés par utilitency axé sur certains champs dans la chaîne des valeurs ajoutées où ils ont la meilleure compétence. La première tendance sur le marché dérégulé est la spécialisation. De nouveaux business transversaux se développent utilisant une compétence centrale telle que tarification, l'attention des clients, la maintenance, le leasing et le financement d'équipement etc. Les services de l'électricité sont maintenant divisés en fourniture, production et distribution.

like the way of reducing the visual impact of wire. Shuntings are also manufactured out of stainless steel for the same reasons.

### **4.2.4 The point of view of the users**

#### **4.2.3.6 customers**

The dual-mode bus has an advantage seen of the customer. The dual-mode one can go from the suburbs until the center of the city and even in the commercial alleys and the underground stations. This was shown real size with Essen. It is a large advantage for the customers of the public transport of avoiding the changes and the latencies. Experiment of Arnhem, the visibility of the network of trolley bus and the bottom grades of noise contributed to increase the share of market of the public market. The possibility of introducing the concepts with low floor and transport of great capacity could be a concept gaining for new the system of trolleybuses of this century.

#### **4.2.3.7 Operators**

The deregulation of the markets like that of electricity, the public transport, of public works, creates new challenges but also of new activity appropriatenesses. The traditional public services will be replaced by utilitency centered on certain fields in the chain of the added values where they have best competence. The first tendency on the dérégulated market is specialization. New transverse businesses develop using a central competence such as tariffing, the attention of the customers, maintenance, leasing and financing of equipment etc. The services of electricity

are now divided into supply, production and distribution.

La compétence centrale de la compagnie de distribution est d'exploiter et de maintenir le réseau électrique. Ces compagnies se transforment en companies de nouveaux services spécialisés en une certaine forme de maintenance.

Le trolleybus et ses infrastructures, est le système le moins onéreux parmi les systèmes de transport sans émissions de polluants. Avant d'investir dans d'autres systèmes de transport, le trolleybus devrait être considéré et évalué. L'exploitation du transport public est actuellement en cours de dérégulation en Europe. Les nouveaux exploitants sont en compétition pour obtenir des contrats de transport public dans de nombreux pays. Ils prennent les meilleurs et les plus efficaces concepts et mettent en œuvre ces concepts où ils obtiennent des contrats. Les exploitants achètent leurs véhicules en grande quantité. Les véhicules sont très standardisés pour être compétitifs. Ceci conduit à la baisse des prix. Les nouveaux opérateurs essaient de trouver soit des flottes changeables soit des contrats sur de longues périodes. Cette tendance va à la fois contre le tramway et le trolleybus. D'une autre façon, les autorités mettent en œuvre des normes environnementales sévères. Dans les zones centrales des villes l'objectif est d'avoir des véhicules sans émissions polluantes. Le trolleybus est le véhicule sans émissions locales au meilleur coût. Le problème pour les exploitants est la caténaire avec ses infrastructures.

Une opportunité pourrait être une compagnie de distribution électrique être propriétaire et assurant la maintenance de la caténaire. Dans l'avenir prévisible, il sera moins compliqué de construire et d'exploiter un système de caténaire dans une ville comparé avec la fourniture d'une flotte à l'hydrogène comprimé.

The central competence is to exploit and maintain the network electrical supply. These companies are transformed into companies new services specialized in a certain form of maintenance.

The trolley bus and its infrastructures, are the cheapest system among the systems of transport without emissions of pollutants. Before investing in other systems of transport, the trolley bus should be considered and assess.

The exploitation of the public transport is currently in the course of deregulation in Europe. The new owners are in competition to obtain contracts of public carriage in many countries. They take the best and the most effective concepts and implement these concepts where they obtain contracts. The owners buy their vehicles in great quantity. The vehicles are very standardized to be competitive. This led to the fall of the prices. The new operators try to find either of the changeable fleets or of the contracts over long periods. This tendency goes at the same time against the tram and the trolley bus. In another way, the authorities implement severe environmental standards. In the central zones of the cities the objective is to have vehicles without pollutant emissions. The trolley bus is the vehicle without local emissions at the best cost. The problem for the owners is the overhead line with its infrastructures.

An opportunity could be an electric company of distribution being owner and ensuring the maintenance of the overhead line. In the foreseeable future, it will be less complicated to build and exploit a system of overhead line in a

city compared with the supply of a fleet with the hydrogen compressed.

Avec un contrat à long terme entre la compagnie de distribution électrique et la ville il est possible d'établir un réseau aérien public pour les véhicules. La compagnie de distribution électrique peut choisir entre fournir des caténaires ou des batteries échangeables pour les véhicules électriques une combinaison des deux. La ville peut introduire des zones à zéro émission polluante et un sous - marché spécial pour des véhicules avec quelques émissions polluantes. Ce système peut être utilisé pour toute sorte de transport urbain commercial. En Italie on utilise déjà la caténaire pour transporter les marchandises.

#### ***4.2.4.3 Le point de vue de l'industriel***

Les constructeurs d'autobus diesel sont peu incités à introduire des systèmes à traction électrique. La fabrication de motorisation conventionnelle, y compris les moteurs a la meilleure marge. La technologie centrale pour réaliser un moteur d'autobus est la même que celle nécessaire pour réaliser un moteur de camion ou un moteur industriel. Le savoir-faire dans la production de moteurs est la compétence principale pour ces compagnies. La première génération d'autobus bimodes n'a pas été d'un gros effet sur le marché. Il y a des économies évidentes d'échelle pour les constructeurs d'autobus à introduire de nouveaux meilleurs moteurs diesel et obtenir un premier prix pour des caractéristiques améliorées des exploitants. D'un autre côté, il n'y a pas d'avantages évidents d'échelle de fabriquer quelques autobus avec des systèmes électriques compliqués sous 600 ou 750 volts. Ils substituent un moteur diesel sur lequel il y a des bénéfices, avec un équipement électrique acheté à l'extérieur.

Pour fabriquer de nouveaux systèmes de trolleybus plus compétitifs, il doit y avoir une nouvelle constellation de compagnies qui travaillent ensemble comme industries

With a long-term contract between the electric company of distribution and the city it is possible to establish a public overhead grid for the vehicles. The electric company of distribution can choose between providing exchangeable overhead lines or batteries for the electric vehicles a combination of both. The city can introduce zones with zero pollutant emission and under - special market for vehicles with some pollutant emissions. This system can be used for any kind of commercial urban transport. In Italy one uses already the overhead line to carry goods.

#### **4.2.4.3 The point of view of the industrialist**

The manufacturers of diesel bus are little incited to introduce systems with electric traction. The manufacture of conventional motorization, including the engines has the best margin. Central technology to produce an engine of bus is same as that necessary to produce an engine of truck or an industrial engine. Know-how in the production of engines is principal competence for these companies. The first generation of dual-mode buses was not of a large effect on the market. There are obvious savings in scale for the manufacturers of bus to introduce new better diesel engines and to obtain a first price for characteristics improved of the owners. On another side, there are no obvious advantages of scale to manufacture some buses with complicated electric systems under 600 or 750 volts. They substitute a diesel engine on which there are benefit, with an electric component bought outside.

To manufacture new systems of more competitive trolley buses, there must be

a new constellation of companies which work together like industries

indépendantes d' électromécanique, de carrosserie et de châssis. La compétence centrale de l'industrie ferroviaire recouvre les systèmes électrotechniques. La roue sur la voie ferrée est d'une importance secondaire pour les développeurs de systèmes.

#### **4.2.5 Futurs concepts pour trolleybus.**

Aux Etats-Unis et au Canada de grandes villes comme San Francisco ? Philadelphie, Dayton, Seattle et Vancouver ont décidé d'étendre ou d'adopter le trolleybus pour réduire les émissions polluantes et le bruit.

De manière à obtenir la souplesse de l'autobus diesel dans les banlieues et les émissions zéro à partir de la traction électrique du centre ville des bus bi modes ont été introduit. Les considérations environnementales au début des années 1980 ont conduit à un nouvel intérêt dans la traction électrique. Mais les exploitants souhaitaient encore la souplesse de l'autobus diesel. C'était la naissance de l'autobus bi mode. Les grands producteurs spécialistes de trolleybus sont tous situés en Chine et dans l'ancienne Union soviétique et n'ont pas présenté encore d'autobus bi mode. Skoda de la République Tchèque et le nouvel émergent AnsaldoBreda en Italie sont les seuls du monde occidental où les constructeurs de trolleybus ont quelque importance.

Aujourd'hui le trolleybus est une vrai alternative pour les villes à forte demande sur la qualité de l'air et des systèmes de transport public efficace. Quelques uns des plus importants systèmes de trolleybus peuvent être trouvés à San Francisco et Seattle, au coeur de la haute technologie américaine. De nouveaux grands

investissements dans les systèmes de trolleybus sont aussi effectués aux Etats-Unis.

Aux Etats-Unis, le trolleybus a été utilisé comme véhicule stratégique pour introduire independent of electromechanics, body and frame. The central competence of railway industry covers the electrotechnical systems. The wheel on the railway is of secondary importance for the developers of systems.

#### **4.2.6 Future concepts for trolley bus.**

In the United States and Canada of large cities like San Francisco, Philadelphia, Dayton, Seattle and Vancouver decided to extend or adopt the trolley bus to reduce the pollutant emissions and the noise. So as to obtain the flexibility of the diesel bus into the suburbs and emissions zero starting from the electric traction of the centre town of the buses Bi-modes were introduced. The environmental considerations at the beginning of years 1980 led to a new interest in the electric traction. But the owners still wished still flexibility of the diesel bus. It was the inception of the bus Bi mode. The large producers specialists in trolley bus all are located in China and in the old Soviet Union and did not present a bus Bi-mode yet. Skoda of the Czech Republic and new emergent AnsaldoBreda in Italy are only Western world where the manufacturers of trolley bus have some importance.

Today the trolley bus is true an alternative for the cities to keen demand on the quality of the air and the systems of effective public transport.

Some of the most important systems of trolley bus can be found in San Francisco and Seattle, in the heart of the high American technology. New great investments in the systems of trolley bus are also carried out in the United States.

In the United States, the trolley bus was used like conveyers strategic to introduce

le transport public sans émissions polluantes. Quand l'usage du trolleybus a atteint un certain niveau, il est remplacé par le métro léger avec une bien plus grande capacité de transport.

Pour être compétitif avec l'autobus diesel, le trolleybus a besoin de gros volumes de passagers et un respect strict des normes environnementales.

En Europe, on peut voir maintenant deux types différents d'investissements dans les systèmes de trolleybus. Dans quelques villes comme Athènes, Arnhem et Sarajevo les réseaux de trolleys sont étendus et les véhicules sont améliorés. Ces investissements entrent en concurrence avec les autobus diesel.

Un examen des avantages et faiblesses des trams, autobus et trolleybus a donné en essais de combiner le meilleur de tout le monde. Du tram on désire la ponctualité lorsqu'il est exploité en voie séparée. Du trolleybus, on désire sa souplesse et le faible niveau de bruit. De l'autobus, on désire la rapide insertion et son affranchissement des lignes de contact. Les tramways et les trolleybus partagent tous les deux le fait d'être pratiquement sans émissions polluantes.

Plusieurs grands constructeurs ont de tels produits dans leur catalogue : Bombardier avec le tramways sur pneus, Irisbus - Siemens\* avec le trolleybus guidé CIVIS, Volvo do Brasil avec un trolleybus bi-articulé guidé (type O-Bahn), Daimler

---

\* Anciennement Renault Véhicules Industriels - MATRA

Chrysler® étudie un autobus électrique bi-articulé de 200 places. Quelque chose de ressemblant est le Stream d'Ansaldo qui ressemble plus au trolleybus traditionnel avec une alimentation innovante en énergie électrique. Skoda, le plus grand constructeur the public transport without pollutant emissions. When the use of the trolley bus reached a certain level, it is replaced by the light subway with a much greater transport capacity. To be competitive with the diesel bus, the trolley bus needs large volumes of passengers and a strict respect of the environmental standards. In Europe, one can now see two types different of investments in the systems of trolley bus. In some cities like Athens, Arnhem and Sarajevo the networks of trolleys are extended and the vehicles are improved. These investments enter in competition with the diesel buses. An examination of the advantages and weaknesses of the trams, buses and trolley buses gave under tests to combine best everyone. Tram one wishes punctuality when it is exploited in separate way.

Trolley bus, one wishes his flexibility and the low level of noise. Bus, one wishes the rapid insertion and its stamping from the contact systems. The trams and the trolley buses practically divide both the fact of being without pollutant emissions.

Several large manufacturers have such products in their catalogue: Bomber with the tired trams, Irisbus - Siemens with the trolley bus guided CIVIS, Volvo C Brasil with a guided Bi-articulated trolley bus (standard O-Bahn), Daimler Chrysler studies an Bi-articulated electric bus of 200 spaces.

Something of resembling is Stream d'Ansaldo which resembles more the traditional trolley bus with a food innovating in electric power. Skoda, the largest manufacturer

---

® Anciennement Mercedes - Benz



de trolleybus totalement intégrés en Europe de l'Ouest, construit des trolleybus traditionnels fiables et à prix abordable. Il a eu une très bonne pénétration sur le marché nord - américain ces dernières années.

#### **4.2.6 Etude de cas**

La technologie la plus excitante est la pile à combustible alimentée par hydrogène pour produire de l'électricité pour les véhicules sans émissions polluantes. Avant que les piles puissent être commercialisées, un plus grand développement est nécessaire pour améliorer la sécurité du stockage et de la production de l'hydrogène. La traction des véhicules se fera par une motorisation électrique. Les piles à combustibles utilisant des carburants liquides comme le gaz naturel liquéfié ou méthanol et une amélioration pour produire de l'hydrogène sur place est aussi en développement. Mais cette technologie ne donnera pas des véhicules avec une véritable émission zéro. Les émissions de dioxyde de carbone ne peuvent être évitées. Le stockage chimique dans des batteries pour produire de l'électricité a été essayé sur des autobus depuis de nombreuses années, mais le désavantage est un poids élevé, un coût élevé, des performances faibles. La capacité de stockage de l'énergie par rapport au poids dans les batteries est dans un ordre de grandeur de 1 / 100 comparé avec les carburants conventionnels. Le grand avantage de la traction électrique est que les moteurs électriques peuvent équiper les moyeux de roues. Ceci est une façon de faire des autobus à plancher bas accessibles aux passagers. Quelques constructeurs d'autobus ont développé des autobus à moteur diesel alimentant une génératrice rien que pour obtenir le plancher

bas désiré. Comme presque toutes les technologies favorables à l'environnement sont basées sur la traction électrique, une chance de renouveau a été donnée au traditionnel trolleybus.

trolley buses completely integrated in Western Europe, built reliable traditional trolley buses and at accessible price. It had a very good penetration on the northern market - American these last years.

#### **4.2.6 Case study**

Technology more exciting is the fuel cell supplied with hydrogen to produce electricity for the vehicles without pollutant emissions. Before the piles can be marketed, a greater development is necessary to improve safety of the storage and the production of hydrogen. The traction of the vehicles will be done by an electric motorization. Fuel cells using of the liquid fuels like liquified natural gas or methanol and an improvement to produce hydrogen on the spot is also under development. But this technology will not give vehicles with a true emission zero. The carbon dioxide emissions cannot be avoided. Chemical storage in batteries to produce electricity was tested on autobus since several years,

##### **4.2.6.1 Le CIVIS**

Le CIVIS est un trolleybus guidé qui partage de nombreuses caractéristiques avec le

tramway. Il a été réalisé pour être exploité sur voie séparée, bien que cela ne soit pas absolument requis. Son système de guidage optique basé sur la reconnaissance de forme pour suivre les lignes peintes sur le revêtement de la chaussée. Le changement entre le mode guidé et non guidé se fait instantanément seamlessly, sans besoin de ralentir.

L'alimentation électrique se fait à partir de lignes aériennes de contact. Le CIVIS peut parcourir de courtes distances en utilisant des batteries. Ceci est intéressant dans le dépôt pour éviter des obstacles temporaires. Pour des distances plus longues sans lignes aériennes une génératrice alimentée par moteur diesel ou au gaz peut être utilisée. La reconnexion aux lignes de contact après une exploitation hors réseau d'alimentation s'accomplit automatiquement.

Grâce aux moteurs roues le CIVIS offre un niveau de plancher qui facilite les montées – descentes du véhicule. Ce véhicule partage de nombreux composants avec la nouvelle génération d'autobus Irisbus, ce qui en facilite la maintenance.

#### **4.2.6.2 Daimler Chrysler**

Pour ce constructeur, chaque ville est considérée comme unique, ayant besoin d'une solution unique tenant compte des paramètres géographique, historique et autres. Pour répondre à cette demande Daimler a développé un resource kit dans lequel des éléments peuvent être sélectionnés et adaptés. Ce resource-kit a quatre zones clés, les véhicules, l'infrastructure, les systèmes de guidage et les systèmes d'information.

Les véhicules arrivent avec les longueurs de 8, 9,5, 12, 15, 18 mètres. Un futur développement se concentre sur un véhicule à double articulation de 24 mètres de 200 places. Ce véhicule à plancher bas, à moteurs roues, réalisé pour être exploité sur

des voies séparées ou banalisées. Chaque véhicule peut être livré selon un design sur mesure de manière à donner à chaque ville son propre profil spécifique de transport public.

Les systèmes de traction s'étendent du trolleybus au diesel, aux piles à combustible. Les piles à combustible produisent de l'électricité en combinant l'hydrogène et l'oxygène dans un catalyseur. Ce processus se fait presque sans émissions. Les piles à combustible en développement et pas encore dans le commerce mais on pense qu'elles domineront à l'avenir si la technologie peut prouver sa fiabilité et sa rentabilité. Cela prendra dix ans de plus pour que nous sachions si les piles seront commercialement compétitives.

Les systèmes de guidage sont soit mécaniques soit électroniques. Des systèmes de reconnaissance d'images qui identifient et interprètent les signaux routiers sont en développement. Ces systèmes sont un moyen d'assister le conducteur.

## **5. Environnement et pollution**

### **5.1 L'environnement**

La plupart des grandes villes sont encombrées, dans leurs zones centrales et intérieures, pendant la majeure partie de la journée et sur leurs grands axes pendant les heures de pointe. De nombreuses villes voient leur zone de banlieue encombrée à certaines heures de la journée.

Le coût des encombrements routiers dans les pays de l'OCDE est estimé à environ 2 % du PIB.

Les statistiques concernant les blessures et les décès sur les trajets urbains sont excessivement élevés. Le coût des accidents de la route dans les pays de l'OCDE est estimé à 1,5–2 % du PIB.

Les quartiers sont coupés par des routes, et le bruit nuit gravement à environ la moitié des habitants des villes. Le coût de la

pollution par le bruit dans les pays de l'OCDE est estimé à 0,3 % du PIB.

Les émissions de gaz d'échappement sont associées à un grand nombre de problèmes de santé et sont génératrices de smog, elles ont un coût estimé à 0,4 % du PIB des pays de l'OCDE. (Short, 1995)

Parmi les mesures prises pour contrecarrer ces évolutions, nous trouvons :

Les mesures visant à augmenter la capacité de transport :

- La construction de nouvelles routes dans les agglomérations n'a pas réduit les encombrements de celles-ci,

- L'amélioration des transports publics a permis aux centres des villes d'attirer à nouveau des activités commerciales parties en périphérie,

- L'attractivité des transports publics améliorés n'a pas été suffisante, les automobilistes attirés par les nouveaux services de transport public ont été rapidement remplacés par de nouveaux automobilistes,

- Les mesures prioritaires valorisant les systèmes de transport de surface à grande capacité ont été une réussite dans de nombreuses villes, e. g. Zürich, Bâle, Berne, Linz, etc.

Les mesures visant à réduire l'utilisation des automobiles :

- Les réductions du nombre d'emplacements de stationnement ont contribué à limiter le trafic urbain,

- L'augmentation des tarifs du stationnement en même temps qu'une réduction du nombre d'emplacements s'est avérée très efficace,

- La limitation de l'accès aux centres historiques des villes comme ceux de Milan ou Rome pour protéger l'environnement urbain,

- Les sites propres réservés aux véhicules à occupation élevée sur les autoroutes américaines et australiennes permettent de décourager la conduite sans passagers,

La création d'un site propre pour autobus fait partie des deux types de mesures précédentes qui augmentent la capacité de transport dans la ville et qui doit réduire l'utilisation de l'automobile ne serait ce qu'en prenant sur l'espace de la voirie une chaussée à deux voies jusque là utilisées par la circulation générale c'est à dire en majorité les automobiles. Mais au vu de ce qui s'est passé à Zürich depuis trente ans, la mise en site propre des autobus ou de tramways ne peut être qu'une simple opération ponctuelle dans la ville mais doit faire partie d'une politique d'ensemble favorable aux transports collectifs. Cette politique doit être expliquée aux habitants et commerçants de la ville, pourquoi donne-t-elle la priorité aux TC par rapport à l'automobile, en réduisant le stationnement des automobiles en centre – ville, en améliorant les arrêts d'autobus équipés de moyens d'information aux voyageurs et en y offrant des services (poste, banque, commerces, etc.) afin d'utiliser les temps d'échanges et d'attente, proposant des services de transport ponctuels et rapides , etc.. Depuis 1985, en Suisse, le taux de croissance par an des déplacements en voiture est tombé à la moitié environ de celui des transports publics mais dans la plupart des pays, le nombre des déplacements en automobile augmente beaucoup plus vite que le nombre de déplacement en transport collectif. (Short, 1995)

L'aménagement d'un site propre doit permettre d'améliorer son environnement par un traitement soigné du site propre lui-même et de la voirie. Les conditions d'exploitation des autobus vont s'améliorer avec la mise en service du site propre,

stimulant un report des usagers de l'automobile vers les transports en commun, et diminuant ainsi les nuisances dues à la circulation automobile. Les stations du site propre, lieu d'accessibilité aux transports, apparaissent aussi comme des éléments positifs vis-à-vis de l'environnement. Les interstations, génératrices de coupures, de bruit et de pollution apparaissent comme des éléments négatifs : si le site est implanté le long des voies de circulation générale, les effets de coupure, de bruit et de pollution seront masqués par ceux que génère la circulation générale.

### 5.1.1 Les effets de coupures

*Les parcours à pied constituent le complément des transports en commun. Les cheminements piétonniers donnant accès aux équipements locaux de quartier ne doivent pas être perturbés par l'implantation d'un site propre. Une analyse des caractéristiques physiques de la zone à traverser, destinée à révéler les barrières naturelles et artificielles qui s'opposent aux mouvements des piétons, sera établie. L'étude du fonctionnement, fondée sur la localisation des points générateurs de trafic piétonnier et une détermination des zones qui attirent ce trafic devra être effectuée. Les barrières et les points générateurs de mouvements piétonniers représenteront les zones fortement structurées que le site propre devra éviter de couper mais qu'il devra desservir.*

*Nous distinguons les effets de coupures selon la situation du site propre empruntant différents types de voies ou hors voirie :*

#### - Sur voies rapides

*Une voie rapide étant déjà une coupure dans le tissu urbain, l'effet de coupure ne sera pas augmenté avec l'introduction d'un site propre, il pourra même être réduit par les stations normalement accessibles au moyen de passerelles ou passages souterrains par les*

*riverains des deux bords de cette voie rapide.*

#### - Sur grands axes

L'effet de barrière est sensiblement augmenté par le site propre en interstations, mais si les principales traversées pour piétons sont conservées, l'attractivité des stations aidant, l'effet de coupure peut être limité.

#### - Sur voies secondaires

Dans ce cas selon le nombre d'autobus et leur vitesse de consigne le site propre sur une voie secondaire peut être une véritable coupure, il est préférable de ne pas y implanter de site propre pour autobus.

#### - Hors voirie

L'interstation du site propre devient une nouvelle coupure pour le tissu urbain, cette implantation ne doit être envisagée que si les avantages pour la desserte sont importants et en aménageant des traversées piétonnes.

## 5.2 Les facteurs environnementaux : pollution de l'air, santé et mortalité

### 5.2.1 La pollution de l'air

Les moteurs des automobiles, poids lourds, autobus, émettent un grand nombre de polluants et il existe une diversité des « portées des impacts », de la voie urbaine à la planète entière. Selon la « portée que l'on considère, les polluants concernés ne sont pas les mêmes. Par exemple plus la durée de vie des gaz croît, plus le niveau de pollution risque de s'étendre. Ainsi, l'effet de serre est dû à des gaz à très longue durée de vie.

Alors que les émissions de polluants sont en baisse dans tous les domaines d'activité, celles du transport sont en hausse constante. La pollution de l'air et le bruit constitue des préoccupations majeures pour les 80 % de nos concitoyens qui vivent en milieu urbain. La responsabilité du secteur du transport dans ces désordres est de plus en plus engagée. Ainsi, sa contribution à la production du bruit, qui est la première nuisance citée au cours des enquêtes d'opinion réalisées en milieu urbain, est devenue prépondérante. De plus, sa part relative dans le total des principaux polluants atmosphériques (CO, NO<sub>x</sub>, COV, particules, pollution photochimique,...) est en progression constante, compte tenu de la baisse des émissions d'origines industrielle et domestique.

La pollution se décline sur trois niveaux :

- La pollution locale (en milieu urbain)

Elle est constatée à proximité immédiate des sources de pollution. Les polluants en jeu sont principalement le monoxyde de carbone (CO), l'ozone (O<sub>3</sub>), les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). Tous ces gaz sont principalement émis par les véhicules automobiles. Les effets de cette pollution se produisent à proximité des sources d'émission. Elle affecte en premier lieu la santé des populations par son action directe à court terme, mais exerce également une toxicité à plus long terme pour certaines pathologies.

La pollution régionale

Elle s'étend sur une plus grande zone, ignore les frontières et dépend du régime météorologique (pluies, vent, ensoleillement). Les effets se produisent dans des zones situées à plusieurs dizaines, voire à plusieurs centaines de kilomètres des

sources de pollution. Il s'agit essentiellement des phénomènes de pluies acides et de pollution photochimique.

La pollution globale ou mondiale

Elle correspond à une pollution à l'échelle de la planète. Les polluants responsables de la pollution à très grande échelle sont multiples et proviennent, tant de nos moyens de transport que des installations de chauffage et des centres industriels. Il s'agit essentiellement de la diminution de la couche d'ozone stratosphérique et de l'accroissement du phénomène d'effet de serre, l'effet de serre étant initialement nécessaire à la vie.

Les principaux polluants atmosphériques sont :

- Le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) : non nocif mais actif dans l'effet de serre ;

- Le monoxyde de carbone (CO) : gaz toxique mais d'une durée de vie courte ; il gêne l'absorption d'oxygène dans le sang ;

- Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) qui ont peu d'effets par eux-mêmes (NO<sub>2</sub> est nocif à forte concentration), mais sont précurseurs d'ozone aux effets très importants sur la santé ;

- Les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM, appelés par la suite HCNM) sont des hydrocarbures divers, produits également lors de l'utilisation de solvants ; ils peuvent être cancérogènes comme le benzène et interviennent dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère ;

- Le méthane (CH<sub>4</sub>), non nocif et d'une durée de vie relativement courte mais contribuant à l'effet de serre ;

- Les particules en suspension (P.) aux effets encore mal connus, les

particules les plus fines étant les plus nocives ; les particules sont suspectées d'avoir des effets cancérogènes ; (<http://www.transports.equipement.gouv.fr/Dossiers.environ/pollution.html>)

- Le plomb (Pb), aux effets néfastes sur la santé (mais ce problème est en voie de disparition) ;

- L'oxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) ; on appelle pollution acide les effets dus aux gaz susceptibles de donner des composés acides au contact de l'humidité. Il s'agit essentiellement des NO<sub>x</sub>, du SO<sub>2</sub> et dans une moindre mesure du CO ;

- Le benzène, classé cancérogène ;

- L'ozone (O<sub>3</sub>) est également un polluant atmosphérique mais sa production est en général indirecte : elle résulte de la transformation d'autres polluants (NO<sub>x</sub> et COV) par le rayonnement ultraviolet solaire et sa concentration maximale peut donc se situer en zone périurbaine. C'est un gaz aux effets très nocifs sur le système respiratoire (irritation des bronches). La pollution photochimique résulte de la formation d'ozone et d'autres polluants photochimiques à partir de NO<sub>x</sub> et de divers composés carbonés (COV et CO notamment) sous l'influence de l'ensoleillement.

En ce qui concerne l'effet de serre, la France s'est engagée à stabiliser, d'ici 2010, ses émissions totales de Gaz à Effet de Serre (GES) à leur niveau de 1990 ; l'enjeu relatif au seul secteur des transports, qui représente à lui seul plus du quart de la consommation d'énergie finale (la consommation du secteur des transports est constituée à 96 % par les produits pétroliers), se révèle d'une importance cruciale.

L'Etat s'est engagé dans une politique de soutien aux autorités territoriales compétentes en matière de transport dans la

lutte qu'il leur est demandé de mener contre la tendance lourde à l'œuvre dans notre pays en matière de mobilité urbaine : les phénomènes de croissance du trafic routier et de recul des autres modes de déplacement, dopés par l'étalement désordonné de l'urbanisme, s'alimentent l'un l'autre, créant souvent des situations dont les conséquences environnementales sont indéniablement excessives. Les Plan de Déplacements Urbains (PDU) ont pour objet l'inversion à terme de ce processus par une affectation prioritaire de l'espace public aux moyens de transport peu ou non « nuisants » : transports publics, vélo, marche à pied.

En parallèle à cette politique structurelle visant à opérer un report entre les différents modes de transport, il est indispensable de réduire les nuisances à la source pour chaque type de véhicules.

La pollution des moteurs devrait décroître avec l'application des normes Euro 2 et Euro 3 aux moteurs diesel mais aussi avec l'utilisation de nouveaux carburants notamment le gaz, des pots catalytiques, les autobus diesel – électrique qui favorise une meilleure combustion des moteurs diesel non soumis directement aux accélérations – décélérations des moteurs. L'intrusion visuelle doit être examinée sous l'angle des riverains comme des usagers des autobus : le profil et l'environnement d'un site propre situé hors voirie doivent être particulièrement étudiés de manière à ce qu'il ne constitue pas un désagrément visuel pour les riverains.

L'état de l'environnement est une matière à accroître globalement notre implication. En particulier, la pollution dans les centres urbains s'accroît continuellement. Les échappements des moteurs de voitures, camions, autobus et autres formes de

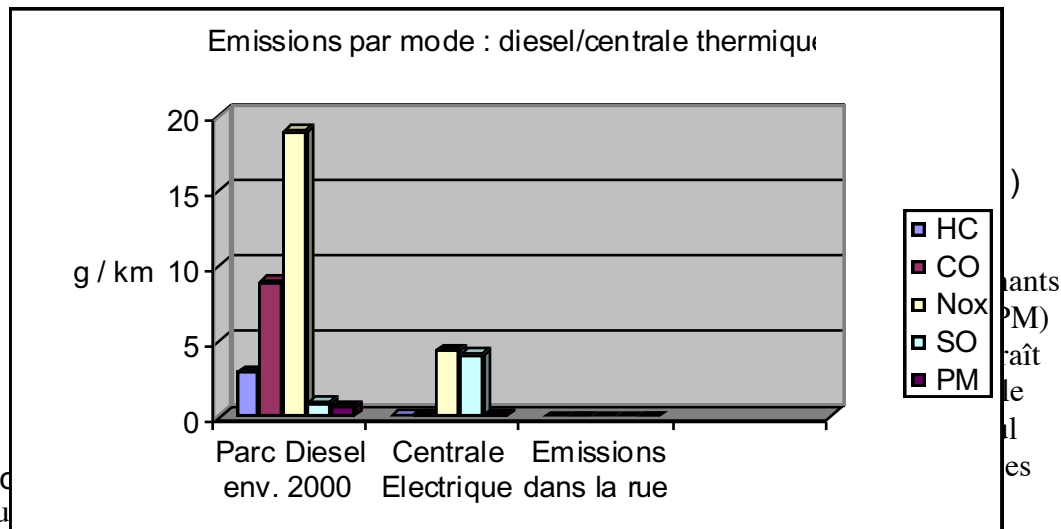
transport sont à rendre pour responsables pour une part significative de cette pollution. La Fondation Suzuki rapporte qu'au Canada au moins 8 % des morts non accidentelles peuvent être reliées directement à la pollution de l'air. Ceci se traduit par 16000 morts prématurés chaque année dans tout le pays. Le nombre de personnes souffrant de problèmes respiratoires s'élève d'une façon importante. L'hospitalisation de jeunes enfants au Canada pour asthme s'est accrue de 28 % chez les garçons et de 18 % chez les filles entre 1980 et 1990. Le département de l'Environnement de la Ville de Toronto estime que le coût des soins résultant des émissions des véhicules dans la métropole de Toronto s'élève à 5000 M\$ par an, avec environ 1800 morts prématurées directement attribuable à la pollution de l'air. A Edmonton, la pollution cause la mort de 350 personnes par an, les statistiques d'accidents de la route montre qu'il y a eu 24 tués par collisions en 1998 et 17 en 1997. Comme toutes les villes à forte croissance, Edmonton aura des difficultés à échapper à la pollution croissante due à l'augmentation de la demande de déplacements et du nombre de véhicules sur les routes. Même les prédictions les plus optimistes pour les 20 prochaines années à Edmonton montrent une augmentation des émissions de carbone et de oxyde de nitrogène. De bons transports publics pourraient attirer les utilisateurs de voitures particulières, mais plus de transport collectif signifie aussi plus d'autobus et plus de pollution en provenance des transports. Une planification prudente des transports impose inévitablement de choisir des véhicules avec des émissions réduites et si possible "émission zéro". Une décision récente d'étendre le réseau du système de trolleybus d'Athènes, a suivi une étude qui estimait que la part estimée due au transport collectif parmi les véhicules polluants était maintenant entre 20 et 40 %. Aux USA, le transport par véhicules diesel

ne fait que 6 % du total des km parcourus, cependant il produit 40 % de toutes les fumées d'origine chimiques et dans les villes les plus grandes jusqu'à la moitié de la suie dans l'air. En conséquence, New York, Boston, et de nombreuses municipalités de Californie s'éloignent du transport public par autobus traditionnellement à traction diesel. Bien qu'il soit indéniable que les centrales thermiques alimentées par du fioul d'origine fossile, en particulier celles alimentées par du charbon, dégagent aussi des substances dangereuses, une comparaison des données de mortalité à partir de l'American Lung Association et une récente étude sur les émissions des centrales électriques montre que les émissions des diesels sont responsables de deux fois plus de mortalité que les émissions provenant de toutes les centrales des USA. Elle établit que les risques pour la santé en provenance des centrales sont plus grands à l'intérieur d'un rayon spécifique autour des centrales et que la nouvelle technologie pourrait les réduire fortement, suggère que les effets du diesel sur la mortalité resteront plus grand malgré les contrôles de pollution des véhicules simplement parce que ces émissions se font le long des accotements de chaussée.

### 5.3 Les émissions de base

Dans l'agglomération d'Edmonton, l'électricité est produite par EPCOR dans 3 centrales, l'une d'elle est au charbon, les deux autres au gaz naturel. En mai 2001, la centrale au charbon produit autour de 65 % de l'ensemble de l'électricité produite. L'histogramme de la figure ci-après montre la quantité de chacun des 5 polluants (HC, CO, NOx, SO, PM) émis par toutes les trois centrales pour alimenter un trolleybus pour effectuer un km. Ceci est comparé avec les polluants émis par le parc d'autobus diesel dont 1/3 du parc comprend de nouveaux autobus "diesel propre".

**Figure 3 : Les émissions polluantes communes de l'air selon le mode diesel et le mode trolleybus**

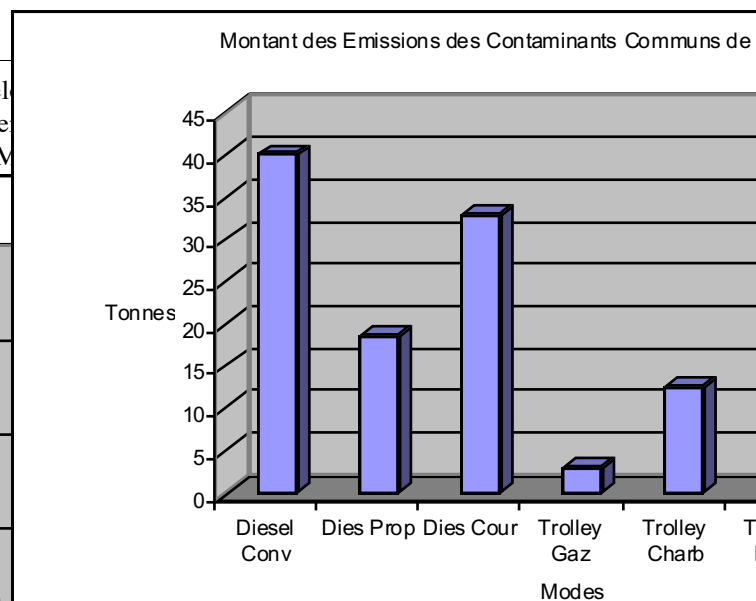
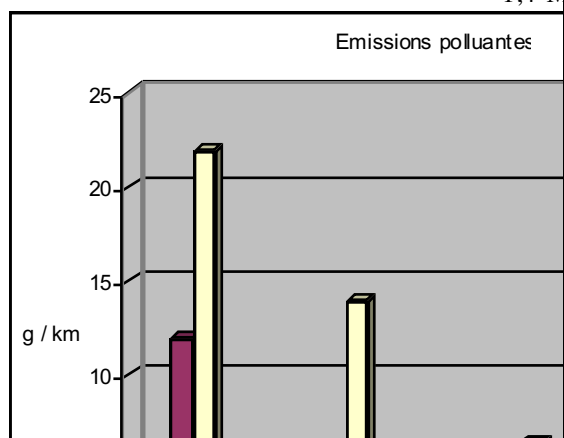


Dans la figure 3, on compare les émissions polluantes en grammes par kilomètre d'autobus conventionnel diesel, de trolleybus alimenté à partir d'une centrale thermique au charbon et une au gaz. Les émissions d'hydrocarbure, de monoxyde de carbone, et de NOx sont les plus basses pour le trolleybus sans tenir compte de l'origine de l'électricité. On doit insister sur le NOx seul et en réaction avec les hydrocarbures et l'oxyde de carbone constitue le plus grand contributeur au smog (ozone au niveau du sol); les trolleybus fournissent une assurance contre l'augmentation des niveaux de NOx par les transports publics. Parmi les centrales alimentées par des carburants d'origine fossiles, la technologie au gaz fournit les émissions les plus basses pour l'exploitation des autobus en toutes catégories.

Le montant total des émissions produit par les centrales de production électrique de la région d'Edmonton pour exploiter sur 1 million de kilomètres les trolleybus, est inférieur à 1 / 3 de la production moyenne d'émissions polluantes d'un parc d'autobus diesel qui effectue le même service. L'exploitation de trolleybus produit moins de la moitié d'émissions produite par un parc d'autobus "diesel propre" pour le même service effectué.

**Figure 5 : Les émissions polluantes communes de l'air par million de kilomètres selon les modes Diesel et Trolleybus**

**Figure 4 : Les émissions polluantes selon le mode diesel conventionnel, propre et les centrales thermiques au charbon et au gaz**





centrales thermiques au charbon émettent de telles substances en produisant de l'énergie électrique pour les trolleybus soit en plus grandes ou moins grandes quantités par km de service que les autobus diesels : les centrales émettent à une certaine distance des lieux d'habitation tandis que les bus diesel étalent leur poison au milieu de la population et très souvent dans l'air directement respiré<sup>12</sup> par les piétons ce qui rend l'impact du diesel sur la santé et la mortalité beaucoup plus grand.

### 5.5 Les moteurs Diesel “ propres ”

L'introduction de nouvelle technologie pour les autobus Diesel dans le parc d'ETS (Réseau d'Edmonton) en 1993 et des moteurs Diesel “ propres ” en 1998 ont aidé à réduire le montant total des émissions dues au transport aussi longtemps que le nombre de véhicules exploités n'augmentent exagérément. En 2009, on s'attend à ce que l'ensemble du parc soit équipé d'autobus Diesel “ propres ” à plancher bas. Le niveau d'hydrocarbures, CO et NOx émis par les autobus en 2009 ne sera pas encore inférieur au niveau par Km exploité émis par les centrales thermiques alimentant le réseau de trolleybus, lequel devrait encore s'améliorer d'ici là.

Le NRDC et d'autres organismes spécialisés se sont intéressés à quelques avantages de la technologie du moteur diesel “ propre ”. Alors que les particules dégagées par de tels moteurs sont de plus petites en tailles et plus légères en poids, le nombre de particules devient plus important. (NRDC, 1999), (NRDC, 1998)

---

Natural Resources Defence Council and the Coalition for Clean Air, April 1998.

<sup>12</sup> Les substances émises par le moteur diesel reste suspendue dans l'air ambiant plus de 15 minutes après le passage de l'autobus d'après NRDC & CCA, Avril 1998.

Source : (Brown, 2001)

Nota : Les polluants retenus sont HC, CO, NOx, SO et PM.

### 5.4 Les toxines des gaz d'échappement du moteur Diesel

Le California Air Resources Board (CARB) a récemment établi des normes qui obligent à acheter des véhicules produisant “ zéro émission ” pour les grandes compagnies de transport de l'Etat de Californie. Le CARB a aussi examiné les effets des émissions du diesel sur la qualité de l'air ainsi que ses dangers pour la santé d'une manière large. En plus des polluants ou faisant partie des HC, CO, NOx, SOx et des particules, un rapport de 1998 du Natural Resources Defense Council (NRDC) fournit une liste d'autres toxines trouvées dans les gaz d'échappement des moteurs diesel. Il y a plus de 40 toxines différentes et composants organiques volatils incluant des poisons communément connus comme l'arsenic, le benzène, cyanide, formalehyde, plomb, mercure, phosphore et toluène<sup>11</sup>. Même si les

---

<sup>11</sup> Cf.: Exhausted by Diesel: How America's Dependence on Diesel Engines Threatens our Health.

Les particules invisibles plus fines pénètrent plus aisément dans les membranes creuses des poumons et entrent dans le sang. Le NRDC et les autres organismes expriment leur crainte sérieuse que quelques particules fines peuvent en effet créer plus de dommages que plusieurs particules visibles plus grandes mélangées dans la fumée des autobus diesel conventionnels.

(<http://www.toxicslink.org/fact-autos.htm>).

Des liens sont maintenant établis entre les fines particules et les maladies cardiaques. Un rapport sur la technologie des émissions des véhicules de février 2001 paru dans Automotive Engineering (Bunting, 2001) établit que même des équipements appropriés d'échappement après traitement tel que le populaire Johnson Matthey CRT<sup>13</sup> s'est montré généralement inefficace à réduire la prolifération des fines particules (sous – 40 nm). En fait, un grand nombre de fines particules étaient encore observées avec le filtre à particules constitué à la fois d'un filtre et d'un piège de type catalyseur par oxydation.

Enfin le NRDC croit que le diesel “ propre ” n'obtient pas la réduction des contaminants communs de l'air et du risque pour la santé, possible avec d'autres technologies et considère le terme “ propre ” comme mal nommé au vu du fait qu'un de ces véhicules produits encore plus de pollution que 100 automobiles durant sa durée de vie.

## 5.6 Les coûts de la pollution pour la santé

Des études californiennes ont essayé de quantifier les coûts des impacts sur la santé des émissions produites par les différents modes de transport. Elles fixent une valeur de 75 000 \$ pour chaque tonne produite de contaminants communs de l'air (HC, NOx, PM, VOC<sup>14</sup>). Cette valeur dépend de la

<sup>13</sup> CRT : Continuously Regenerating Trap

<sup>14</sup> VOC : Volatile Organic Compounds

densité de l'habitat, elle est donc élevée pour Edmonton qui a une densité plus faible que les villes californiennes. Si cette valeur est appliquée au réseau d'Edmonton, le parc courant d'autobus diesel atteint un montant de 1,9 M\$ par million de km, le parc d'autobus diesel “ propre ” atteint un montant de 1,1 M\$ par million de km, contre 0,6 M\$ pour les trolleybus alimentés par EPCOR, 0,9 M\$ pour les trolleybus alimentés par une centrale au charbon, 0,25 M\$ par une centrale au gaz naturel. Nous retiendrons de ces études surtout le ratio de 2 à 3 selon que sont exploités des autobus à moteurs diesel “ propre ”, des autobus diesel courants, par rapport aux trolleybus alimentés par centrale thermique (2 au gaz, 1 au charbon, dans le cas d'EPCOR à Edmonton).

Les coûts pour la santé associés à l'exploitation par trolleybus sont en effet probablement surestimés dans une analyse de ce type où les valeurs en \$ sont appliquées aux émissions à la source. Différentes des toxines du diesel, les émissions produites par les centrales thermiques alimentant les trolleybus ne sont pas directement étalées directement dans les rues. Les effets de l'exposition directe aux autobus diesel, en réalité, auront certainement des coûts supérieurs pour la santé à ceux des trolleybus même si la quantité des émissions étaient égales.

## 5.7 Les Gaz à effet de serre

Les gaz à effet de serre (GES), produits à partir de la combustion de carburants d'origine fossiles, contribuent au changement de climat et au réchauffement global. Près de 40 % des émissions de GES dans le monde sont produites par les transports principalement les moteurs à combustion interne des véhicules utilisant de l'essence, le gasoil ou le gaz naturel.

Selon les accords de Kyoto, les émissions de GES doivent être réduites de 6 % du niveau atteint en 1990, entre 2008 et 2012. Puisque ces émissions ont augmenté depuis 1990, ceci demandera une réduction de quelques 29 % des niveaux actuels. La première cible du programme de réduction des GES est de dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> mais les GES incluent d'autres gaz comme CO, NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O et le méthane. On pense en effet que les oxydes de soufre, relâchés à la fois par les moteurs diesel et les centrales au charbon, ont un effet de refroidissement global – à l'opposé des GES- et ne sont donc pas dans les GES. (Ceci ne signifie pas que l'émission de SO<sub>x</sub> est " bon " pour l'environnement.) (<http://www.epa.gov/globalwarming/glossary.html#S>)

Dans les anciens moteurs diesel conventionnels, la technologie employée pour obtenir la combustion donnait de plus grandes quantités d'hydrocarbures (gasoil imbrûlé) et du CO, une puissance plus basse à faibles régimes et une certaine quantité de CO<sub>2</sub> par km.

La technologie des nouveaux moteurs diesel permet une combustion plus complète, réduisant les quantités d'hydrocarbure et de CO mais en même temps augmentant le CO<sub>2</sub>. Ceci, combiné avec l'augmentation de puissance des nouveaux moteurs, signifie que les nouveaux moteurs ne contribuent pas à la réduction des GES. En fait, la production des GES, comme mesuré dans les essais conduits par l'Office des technologies du transport à l'Université de West Virginia, tendent à indiquer que les niveaux sont plus hauts avec les plus puissants des nouveaux moteurs diesel. En outre, les conditions de circulation actuelles signifient que les autobus diesel passent plus de temps bloqués dans la circulation, augmentant leur production de CO<sub>2</sub>.

(<http://www.ctts.nrel.gov/heavy-vehicle/emissions.html>)

La quantité de GES produit par km de service par un véhicule donné dépend de nombreux facteurs, incluant les suivants : l'efficacité énergétique du moteur ou de la centrale thermique et la quantité d'énergie requise ou appliquée pour tracter le véhicule, la charge que transporte le véhicule et les conditions d'exploitation, la méthode et la technologie employées pour la combustion, le contenu en carbone du fioul brûlé. Le trolleybus nécessite moins de la moitié de l'énergie nécessaire à un autobus diesel sous des conditions similaires de chargement. Ainsi, lorsque comparé au diesel, si la technologie utilisée dans la production d'électricité était de même efficacité dans la création de puissance à partir de carburants fossiles et le carburant consommé contenant la même quantité de carbone, on s'attendrait à moins d'émission de GES de l'exploitation du trolleybus que de l'autobus diesel. Si la source d'énergie pour le trolleybus est le gaz naturel où une production de grande efficacité est possible et le contenu en carbone est en comparaison bas, les GES produits peuvent être remarquablement moins importants que pour les diesels. Possibilité de réduction des GES dans l'avenir

Une des façons de réduire les GES et autres émissions est de trouver la voie pour une technologie pour une énergie plus efficace. La technologie du moteur diesel a pratiquement atteint ses limites de développement d'efficacité, avec une efficacité dans son application aux véhicules se situant entre 25 et 40 %. Dans l'application à l'autobus, l'efficacité du diesel est probablement dans la partie basse de cette fourchette parce que le moteur dépense tellement de son temps d'exploitation à charge partielle dans son service de marche et arrêt. La quantité de GES provenant des moteurs diesel due aux gains d'efficacité ne doit pas probablement changer profondément dans un avenir

prévisible. D'un autre côté, l'efficacité des centrales thermiques peut être remarquablement améliorée avec des systèmes CHP " combinaison chaleur et énergie<sup>15</sup> " qui utilise la chaleur gaspillée. On s'attend à ce que de tels systèmes se multiplient dans les dix prochaines années. Le système CHP peut effectuer une réduction de plus de 40 % des émissions de CO<sub>2</sub> dans les centrales au charbon. De nouvelles turbines au gaz utilisées pour produire de l'énergie électrique sont aussi hautement efficaces, avec des taux de conversion de 50 à 60 %. Les moteurs électriques utilisés pour la traction des trolleybus ne souffrent pas des pertes d'efficacité de charge partielle qui affligent le moteur diesel. C'est un fait qu'il est beaucoup plus aisé de contrôler les émissions d'une source que de plusieurs, petites sources (comme les moteurs à combustion interne). La possibilité de réduire les GES provenant des centrales thermiques en conséquence doit être de loin plus grande que pour contrôler les impacts d'émissions du moteur diesel. En fait, les producteurs d'électricité de l'Alberta ont travaillé avec différentes technologies pour réduire la production de CO<sub>2</sub> des centrales au charbon depuis quelques temps maintenant, et d'autres mesures pour réduire l'ensemble des niveaux de CO<sub>2</sub> (par exemple, à travers des compensations ou en développant des sources d'énergie verte) sont déjà en place. Si on compare la tendance des émissions de GES pour les autobus diesel avec les niveaux projetés des centrales électriques alimentant les trolleybus, on remarque que les niveaux du diesel s'élève légèrement avec l'arrivée de la nouvelle technologie diesel et le niveau atteint environ 2100 g/km en 2008-2009. Les projections de TransAlta pour les contributions nettes de GES à partir des

centrales d'électricité décroissent lentement avec le temps.

[http://vcn.bc.ca/t2000bc/learning/vancouver/operating\\_stats.html](http://vcn.bc.ca/t2000bc/learning/vancouver/operating_stats.html)

## 5.8 Le bruit

L'utilisation des derniers modèles de véhicule garantit de limiter le bruit émis dans la fourchette des valeurs autorisées, sachant que la nuit, la demande de transport se réduit ; l'utilisation de deux voies de circulation automobile pour insérer le site propre, réduit la circulation routière latérale et donc le bruit environnant sur l'axe.

Néanmoins, les pointes engendrées par le passage cadencé des autobus peuvent créer une gêne pour les riverains. Outre le bruit, les autobus produisent des vibrations qui sont transmises par le matériau des chaussées, les projets de site propre devront tenir compte de ces aléas afin de ne pas gêner les riverains.

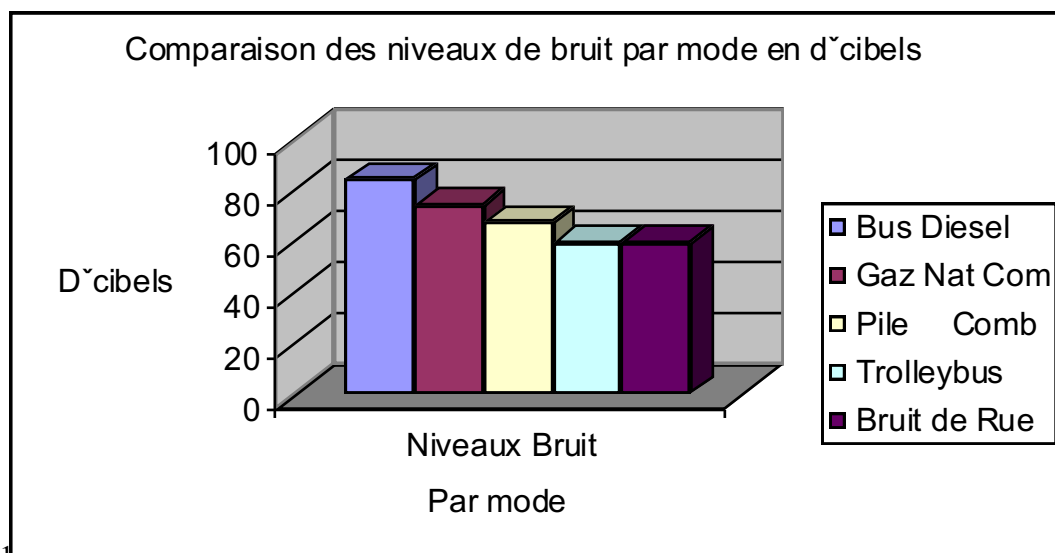
Malgré une étude sur les trolleybus d'Edmonton en 1993 a rendu triviaux les impacts des différences de bruit par modes comme " non quantifiable ", c'est un fait que le bruit est un polluant qui peut être mesuré. Ses effets négatifs sur la qualité de la vie existent vraiment. Le bruit cause de sérieux troubles en créant une sorte d'atmosphère que les gens cherchent activement à éviter. Il peut effectivement conduire les gens à l'intérieur et décourage la sorte d'interaction sociale que forme les bases pour les communautés du son ; il crée un mauvais climat pour les affaires. Même le bruit intermittent est troublant, particulièrement dans les endroits résidentiels calmes. En outre, l'exposition quotidienne au bruit supérieur à 90 décibels est connue pour entraîner des pertes auditives.

Le niveau de bruit dans une rue moyenne mesure autour de 60 décibels. Des études

<sup>15</sup> CHP : Combined Heat and Power

effectuées à Philadelphie ont montré que le passage d'un trolleybus ne se distinguait pas du bruit ambiant de la rue (Booz, 1991). Cependant, l'autobus diesel a un impact très significatif sur son environnement en terme de bruit. Il est considérablement plus fort que le niveau moyen produit par la circulation automobile en général. En fait, les impacts du bruit ont été regardés en établissant la politique du bruit de la circulation urbaine à Edmonton. Les Autorités ont concédé que les niveaux de bruit produits par les autobus diesel présentent un problème qui est loin de leur contrôle. Des comparaisons de niveau de bruit en décibels montrent que l'énergie du son produit par l'accélération d'un autobus diesel est quelques 175-300 fois plus forte que les niveaux de bruit d'une rue moyenne et 175-300 fois plus forte que l'énergie du son émis par le passage d'un trolleybus. Des mesures sur les bruits produits par différents modes d'autobus apparaissent dans la figure suivante. Le trolleybus est le plus calme et le moins troublant des modes de transport urbain.

**Figure 6 : Niveaux de bruit pour différents types d'autobus**



## 6. Du moteur diesel à la pile à combustible

### L'évolution du moteur à combustion interne

La marge de progrès de ces moteurs est importante d'un point de vue énergétique. Par ailleurs, ils font l'objet d'une réglementation européenne de plus en plus stricte. Les améliorations viendront de la généralisation des systèmes d'injection directe haute pression et mélange pauvre pour le moteur à essence, des filtres à particules pour le moteur Diesel et des systèmes avec dispositifs de diagnostic embarqué <sup>16</sup> (OBD) : ces systèmes de gestion du moteur permettent tout au long de la vie du véhicule une détection rapide des dysfonctionnement ou autre défaut du moteur susceptible d'augmenter la consommation de carburant doivent être introduits à partir de 2005. Ces évolutions sont rendues possibles par une gestion électronique allant de l'injection jusqu'au post traitement. Cette électronique est associée à des calculateurs de bord de plus en plus puissants et nombreux traitant des opérations complexes et un volume de données important. Cela nécessitera, dans un proche avenir, un multiplexage des câbles ainsi qu'un apport d'énergie électrique plus important (passage au 42V et batteries spécialisées).

Les constructeurs européens ont pris, vis-à-vis de la Commission Européenne, des engagements de réduction importante de la consommation (140 g de CO<sub>2</sub> par km en 2007 en moyenne sur l'ensemble du parc).

---

<sup>16</sup> On Board Diagnostics

Ces innovations devraient donc être sur le marché avant 2005 et équiper progressivement le parc. (CIVP, 2000)

Les automobiles, les camions à moteur diesel et les autobus émettent une pollution qui affecte la qualité de l'air dans toutes les grandes agglomérations à travers le monde. Les industries de l'automobile, des poids lourds et du transport ont expérimenté plusieurs voies pour réduire les émissions des véhicules.

Ainsi aux USA depuis 1992, les exploitants de compagnies de transport ont essayé des carburants à base d'alcool (méthanol et éthanol), le gaz naturel, (gaz naturel comprimé et gaz naturel liquéfié), le carburant bio diesel (un carburant de telles sources biologiques comme l'huile végétale), le gaz de pétrole liquéfié et les batteries. Les technologies de la pile à combustible et hybride électrique -définies comme des systèmes alternatifs de propulsion- sont aussi actuellement développées pour l'usage dans les autobus. Les systèmes de pile à combustibles convertissent le carburant en un courant électrique sans combustion. Les systèmes hybride électriques utilisent un petit moteur à combustion interne et l'électricité pour la propulsion.

L'Agence pour la Protection de l'Environnement (EPA), le Département de l'Energie ((DOE), et le Département des Transports (DOT) ont mis des programmes en place pour encourager l'utilisation de carburants alternatifs, incluant le transport par autobus. L'EPA est responsable de la mise en œuvre des programmes dont l'objectif est la réduction de la pollution de l'air. Cette agence normalise les émissions de certains polluants de moteurs en établissant des normes qui limitent le niveau d'émission à la source d'un véhicule.

L'industrie des transports a mis à l'essai des alternatives au diesel depuis plusieurs années. Comme résultat, les carburants basés sur l'alcool sont écartés, et des carburants et des systèmes de propulsion plus récents arrivent sur l'avant-scène.

Les carburants courants alternatifs et les systèmes de propulsion disponibles vont du gaz naturel comprimé –le plus commun des carburants alternatifs- aux systèmes de propulsion hybride électrique et à la pile à combustible, qui sont encore en développement. Le gazole est bien loin le carburant commun le plus utilisé par les exploitants. En 1998, aux USA, 93 % des autobus de grande taille utilisaient des moteurs diesels alimentés au gazole. Le service d'information du Département de l'Énergie estimait que le nombre d'autobus utilisant du carburant alternatif dans tous les USA s'accroîtrait de 4500 unités en 1999 à plus de 6000 en 2000. En 1999, 75 % des autobus utilisant du carburant alternatif au gazole sont des autobus à moteur alimenté au gaz naturel comprimé.

L'utilisation du carburant basé sur l'alcool (Méthanol et Éthanol) a diminué ces dernières années, ce déclin serait apparu, selon les industriels et le FTA, en raison des moins bonnes performances et des coûts d'exploitation élevés des autobus alimentés à l'alcool.

Les autobus hybrides électriques sont actuellement disponibles chez deux constructeurs d'autobus et les autobus alimentés par pile à combustible seront disponibles dans le commerce à partir de 2002. La première configuration d'autobus hybride est d'abord à batteries électriques, mais utilise une petite génératrice à moteur pour réduire la puissance des batteries qu'il serait nécessaire sans celle-ci. Par ce moyen,

l'exploitation se trouve prolongée entre les charges de batterie. Les batteries du véhicule sont rechargées extérieurement et constituent la première source d'énergie. La deuxième source est un système avec une génératrice suffisamment dimensionnée pour alimenter les moteurs de traction dans tous les modes d'exploitation sans l'aide d'un équipement d'alimentation à partir d'énergie stockée. Le carburant du moteur est le premier moyen de stockage d'énergie, et le véhicule n'est pas équipé pour recharger des batteries de l'extérieur. Les piles à combustible sont des équipements électrochimiques qui convertissent l'énergie du carburant directement en énergie électrique. Ces piles peuvent être fabriquées pour une grande variété d'applications au transport et offrent le moyen d'accroître d'une manière importante l'économie de carburant et réduire les émissions du véhicule. Actuellement les piles à combustibles sont alimentées par de l'hydrogène qui peut soit être stocké à bord ou obtenu à partir d'autres carburants tel que le méthanol.

L'Administration des Autoroutes fédérales estimait qu'il y avait au total sur les routes aux USA 208 millions de véhicules. Les 50 000 autobus de grandes tailles exploités ne constituaient que 0,024 % de l'ensemble du parc national. Les autobus à carburants alternatifs ne représentent que 5 % soit 2500 autobus. En outre, l'EPA estime que les autobus avec de puissants moteurs diesels, en général, représentent 5 % de toutes les émissions polluantes provenant de l'ensemble des poids lourds.

En même temps, parce que chaque autobus fonctionnant au carburant alternatif émet moins de polluants que ne le fait chaque autobus diesel, il est vraisemblable que l'usage d'autobus à carburant alternatif effectue quelque impact dont l'avantage sur la qualité de l'air reste encore à mesurer dans

les zones urbaines dans lesquelles ils opèrent.

Les autobus à carburant de substitution produisent moins de grandes émissions -NO et particules- que les autobus diesels ne le font. L'EPA a certifié qu'à la fois que les moteurs Diesels Detroit et les puissants moteurs au gaz naturel comprimé Cummins produisent des niveaux plus bas de NO et de particules que les moteurs diesels à puissance comparable. De plus l'Université de West Virginia et d'autres ont trouvé que les autobus au gaz naturel peuvent réduire d'une manière significative les NO.

Quelque impact avantageux sur la qualité de l'air obtenu à partir de l'utilisation d'autobus à carburant alternatif est aussi relatif à la nature du parcours de l'autobus dans l'agglomération. Par exemple, la ligne type d'un autobus –comprenant de fréquents arrêts et démarrages en raison de la congestion de la circulation et des montées de passagers- crée des émissions à fortes particules dans les zones dans laquelle elle opère. L'Université de West Virginia et d'autres universités ont trouvé que les autobus alimentés au gaz comprimé émettent en théorie pas de particules. En outre, le FTA indiquait qu'en 1997, 73 % des services d'autobus se déroulaient dans des zones urbaines de plus de 1 million d'habitants, incluant des agglomérations telles que Chicago, Los Angeles et New York où les niveaux de pollutions ont dépassé les normes nationales.

Les autobus diesel deviennent aussi plus propres. Selon l'EPA, les émissions produites par les autobus diesels ont diminué substantiellement depuis 1988. Des améliorations de la technologie du moteur diesel ont produit des moteurs diesels pour poids lourds qui sont plus fiable, de durée de vie plus longue, et moins polluants que les

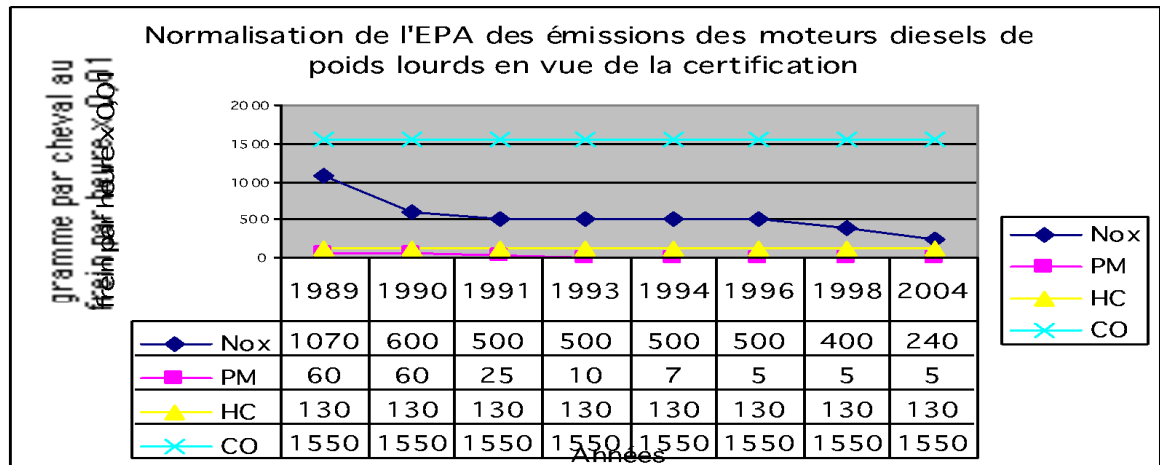
moteurs diesels du passé. De nombreuses de ces améliorations résultent de normes EPA de pollution plus strictes promulguées dans le cadre du Clean Air Act. Initialement établis en 1985, ces normes, sous les procédures de test actuelles de l'EPA, sont devenues de plus en plus restrictives dans le temps, conduisant à des émissions plus propres à la source. Les règles de pollution pour les autobus de grande taille visent plutôt les moteurs que le véhicule complet (comme les voitures) parce que les constructeurs de moteurs de poids lourds n'assemblent pas les véhicules complets. Selon la figure ci-dessous, les niveaux permis de NO ont diminué de 63 % ( de 10,7 grammes par cheval au frein par heure (g/bhp-hr)<sup>17</sup> à 4,0 g/bhp-hr). Les normes prévues pour 2004 devront être atteintes pour les moteurs sortis de fabrication à partir du 1<sup>er</sup> Octobre 2002.

**Figure 7 : Normes de certification de l'EPA pour les moteurs diesels lourds**

---

<sup>17</sup> 1HP/h = 0,746 kWh





Source : EPA

Nota : Pour les particules à partir de 1996, la norme pour les nouveaux autobus urbains est 0,07 g/bhp-hr et de 0,10 pour les autres

Selon l'accord et le décret de Juillet 1999, les constructeurs de moteurs lourds diesels doivent produire des moteurs qui respectent les normes de 2004 à partir d'octobre 2002.

Le FTA demande que les exploitants d'autobus exploitent des autobus achetés avec des subventions fédérales au moins durant 12 ans ou 800 000 km.

Cependant, les responsables de l'Association Américaine des Transports Publics ont indiqué que les exploitants étendraient la période de temps à 15 ans ou plus. En conséquence, quelques autobus qui ont été construits à la fin des années 80 sont encore en exploitation. Depuis, les niveaux permis de NOx et de particules de matières –les polluants en grande partie attribuables aux moteurs diesels- ont diminué.

L'EPA a introduit une nouvelle réduction en NOx pour les nouveaux moteurs. A partir de 2002, les moteurs de poids lourds sont limités à 2,4 g/bhp-hr d'une combinaison de NOx et d'hydrocarbure non méthanol, d'autres réductions d'émissions de NOx de 40 % depuis 1998 (de 4,0 à 2,4 g/bhp-hr. En

outre, l'EPA est déjà en train de développer des normes plus strictes pour les moteurs diesels qui, selon un responsable de l'EPA, diminueront d'une façon importante les niveaux permis de NOx et les particules de matière.

## 6.1 Les carburants de substitution

Les mesures liées à la réduction des pollutions atmosphériques et sonores revêtent une importance toute particulière dans le secteur des autobus. En effet, dans bien des cas, elles illustrent l'image environnementale de la ville et contribuent à renforcer l'attractivité des transports en commun aux yeux du grand public.

La demande mondiale de carburants traditionnels devrait fortement croître d'ici 2010. Là aussi, un rééquilibrage s'opérera entre les pays développés et le reste du monde. Parallèlement, des nouvelles sources d'énergie (gaz naturel, hydrogène, électricité...) apparaîtront ou s'étendront dans le secteur des transports routiers, d'abord sur des marchés de niche, puis plus largement si leurs performances technico-économiques sont favorables. Toutefois, cette pénétration sera lente et, à l'échelle d'une génération, la dépendance pétrolière

restera la règle, le pétrole étant relativement bon marché et abondant.

Les projections démographiques et les perspectives de développement d'une partie importante des pays en développement rend possible une nouvelle vague de motorisation. Dans les vingt prochaines années, si l'on ne s'inscrit pas dans un scénario de progrès technologique marqué et de diffusion rapide des techniques les plus performantes vers les Pays en développement, on pourrait être confronté à des problèmes majeurs en termes de réserves pétrolières, de pollution, de congestion, de sécurité et de financement.

### 6.1.1 Le Gaz de Pétrole Liquéfié

Issu principalement du processus de raffinage du pétrole, le GPL est un mélange de butane (60 %) et de propane à indice d'octane élevé (40 %). Sans soufre, ni benzène. Les émissions d'hydrocarbures et de NO<sub>x</sub> sont réduites de 30 à 65 %, de CO de 40 à 75 %, de CO<sub>2</sub> de 13 % et les particules sont éliminées. Il est vrai que la consommation est accrue de 10 à 15 % environ, la puissance plus faible (8 %). Et il y a l'encombrement d'un réservoir supplémentaire et l'investissement de départ. A la sortie de la raffinerie, parce qu'il doit être comprimé, le GPL est plus cher que le carburant courant. En France, le prix du GPL et les aides fiscales constituent un argument majeur, bien que les politiques fiscales soient susceptibles de changer à moyen ou à long terme. Un programme d'évaluation multi-sites, piloté par l'ADEME, le GART et l'UTP a permis de constater :

- Le GPL a les mêmes potentialités en matière de émissions que le GNV.

- Le facteur de surconsommation par rapport au gazole est compris, selon les conditions d'usage, entre 1,9 et 2,2 ce qui pénalise fortement le bilan CO<sub>2</sub><sup>18</sup>
- Le bilan économique dépend des frais de mise en conformité des entrepôts, en plus du surcoût des véhicules. En phase d'exploitation, le coût d'usage des bus GPL est identique à celui du Diesel.

Par ailleurs les exploitants de Bayonne et de Tours ont constaté par rapport aux autobus diesels que les bus alimentés au GPL avaient les atouts suivants :

- Un niveau de pollution très inférieur,
- L'absence de fumée d'échappement,
- Un faible niveau sonore,
- Peu de vibrations,
- Une conduite beaucoup plus souple que les véhicules Diesel,
- Une rupture avec l'image des véhicules Diesel.

La station d'emplissage comprenant 2 postes GPL gros débit (12 m<sup>3</sup>), 1 poste GPL pour véhicules légers et 2 postes gazole représente un investissement total de 185 000 Euros. Les ateliers existants ont été équipés de ventilations, de systèmes de détection de gaz et d'alarmes, pour un coût de 90 000 Euros. Un nouvel atelier de 320 m<sup>2</sup>, pouvant recevoir 2 autobus articulés, complètement sécurisé a été construit pour toutes les interventions de réparation et de

---

<sup>18</sup> Sur le réseau d'autobus de Bayonne, les bus GPL consomment 86,13 litres pour 100 km, tandis que sur les mêmes lignes, les autobus au gazole consomment 46,34 litres au 100 km. Néanmoins, la détaxation de la TIPP permet, en 2001, de faire une légère économie sur le budget carburant.

maintenance portant sur les circuits de gaz, représente un investissement de 425 000 Euros.

L'option GPL représente 30 000 Euros de surcoût d'investissement par autobus. La maintenance des véhicules roulant au GPL induit un surcoût de l'ordre de 0,01 à 0,02 Euros/km comprenant principalement l'entretien des circuits d'allumage et les contrôles de sécurité (Réseau CTTAT de Tours)

Depuis le 1<sup>er</sup> Janvier 2002, l'Union Européenne a demandé que les véhicules neufs soient équipés de moteurs aux normes EURO 3.

Ce gaz est aussi très utilisé aux Pays Bas, en Italie et au Japon.

### **6.1.2 Le Gaz Naturel pour Véhicules**

Le gaz naturel est essentiellement constitué de méthane ( $\text{CH}_4$ ), d'hydrocarbures très légers et de composés neutres, d'origine fossile. Son impact sur l'environnement est réduit par rapport aux carburants liquides : la plupart des nuisances directement sensibles, odeurs, fumées noires, particules, salissures, pertes par évaporation, sont supprimées, et les gaz de combustion sont moins nocifs : émissions de CO réduites de 90 %, celles de  $\text{NO}_x$  de 60 %, pas de HAP, ni d'aldéhydes. Le GNV présente un fort potentiel de développement en tant que carburant alternatif pour véhicules lourds assurant des services urbains (bus, bennes à ordures ménagères). C'est pourquoi la plupart des constructeurs européens produisent aujourd'hui des bus roulant au GNV, rendant possible l'équipement de lignes complètes. L'utilisation de GNV suppose l'installation de réservoirs spéciaux à bord des véhicules. Quant à la distribution, elle s'effectue en station-service spéciale.

L'utilisation du GNV à l'état gazeux et comprimé sous 200 bars est une solution technologique déjà éprouvée puisque plus de 500 000 véhicules sont concernés dans le monde. Les émissions des moteurs au GNV sont constituées presque exclusivement de méthane, donc de faible toxicité. Le méthane est cependant un gaz à effet de serre important. Mais, si l'on considère les émissions de gaz à effet de serre sur toute la chaîne d'utilisation, le GNV apporte des gains de l'ordre de 20 à 25 % par rapport à la filière essence et de 10 à 15 % par rapport au gazole.

Un programme d'évaluation multi-sites, piloté par l'ADEME, le GART, GDF et l'UTP a permis de constater :

- Le GNV permet, par rapport au gazole, une réduction des émissions de  $\text{NO}_x$  d'environ 50 % et une quasi-absence de particules.
- Afin d'obtenir des émissions de CO et HC faibles, on doit privilégier les systèmes à injection
- La consommation de carburant est fortement dépendante des conditions d'usage et des technologies : suivant les cas, une surconsommation moyenne, qui varie entre 20 et 45 % a été observée.
- En phase d'exploitation, le coût d'usage des bus GNV est identique à celui du Diesel.

Par ailleurs les exploitants de Nice, Valence et de Clermont-Ferrand ont constaté par rapport aux autobus diesels que les bus alimentés au GNV avaient les atouts suivants :

- Les clients ont apprécié leur effet sur la pollution, leur accessibilité, leur moindre niveau sonore et leur confort,
- Les conducteurs sont sensibles à leur confort et à leur souplesse.,

- Les exploitants apprécient l'économie de carburant et l'effet d'image auprès des clients.

En 1998, le choix de la Ville de Nice s'est porté sur une proposition de Volvo-Heuliez de 42 autobus GX-217 3 portes, équipés d'un moteur de 245 CV à mélange pauvre pour un montant de 9,3 M Euros, en 1999 une nouvelle tranche de 38 autobus a été acquise pour un coût de 9,25 M Euros. A Valence, une station de compression et de distribution, pour un remplissage " rapide, séquentiel, à la place " avec reconnaissance automatique du véhicule et recueil des données, avec les caractéristiques suivantes :

- 2 compresseurs SAFE
- Débit maxi : 1000 m<sup>3</sup> / heure
- 20 postes de distribution à la place,
- Pression de sortie : 210 bars
- Stockage tampon : 1200 litres à 210 bars
- L'ensemble du matériel de compression, de régulation et des périphériques

Le coût total de la station (y compris le génie-civil) s'élève à 457 347 Euros HT.

GDF estime que la rentabilité économique peut être atteinte à partir de 20 autobus consommant 5.000.000 de kWh / an, le prix du GNV est à peu près égal à celui du gazole. A priori , seuls des réseaux assez importants pourront donc utiliser les autobus au GNV. (ADEME, 1999)

Le surcoût d'investissement d'un autobus GNV par rapport à un autobus Diesel est de 38 112 € en 2001 (réseau de Valence)

En ce qui concerne l'intérêt économique de la filière, quelques éléments de comparaison pour les deux types d'autobus à air conditionné sont identifiés dans le tableau 12 ci-après :

**Tableau 12 : Coûts de l'énergie consommée de bus au GNV et Diesel**

	us GNV	Bus Diesel
Moyenne de consommation	m <sup>3</sup> / 100 km	46,44 l / 100 km
Coût moyen unitaire du carburant	25 € / m <sup>3</sup>	0,63 € / l
Taxes	- 0,03 €	- 0,04 €
Surcoût énergie de compression*	0,02 €	
Coût réel du carburant	30 € / m <sup>3</sup>	0,59 € / l
Coût réel du carburant au km	20 € / km	0,27 € / km
Surcoût estimé de la maintenance par rapport au Diesel	04 € / km	

Source : (ADEME, 2002) Nota : \* 0,3 kWh par m<sup>3</sup> de gaz

### 6.1.3 Les biocarburants

Deux filières de biocarburants sont généralement considérées : la première fait intervenir l'éthanol, la seconde les dérivés d'huile végétale intéressante pour alimenter les autobus à moteur Diesel.

#### 6.1.3.1 Le biogaz

La transformation des huiles végétales en esters méthyliques offre des avantages considérables sur le plan technique. Les esters méthyliques d'huiles végétales ont des propriétés physico-chimiques proches de celles du gazole dans lequel il est parfaitement miscible. Aujourd'hui, l'ester méthylique d'huile végétale est utilisé en mélange au gazole avec deux taux d'incorporation. Jusqu'à 5 %, taux homologué par les pouvoirs publics, il peut être distribué à la pompe et à 30 %, optimum technique et écologique, il sert pour les flottes urbaines et captives. Plus de trente agglomérations en France utilisent le biodiesel à des taux d'incorporation

supérieurs à 5 % dans leur parc de véhicules. L'incorporation d'ester méthylique de colza jusqu'à 30 % ne nécessite en effet pas de contraintes techniques particulières et la réversibilité est possible à tout moment. La plupart de ces agglomérations sont regroupées au sein du "Club des Villes Diester". (Assemblée Nationale, 2000) Les types d'oléagineux concernés sont essentiellement le colza et le tournesol : il est possible d'obtenir 30 à 35 quintaux / an de graines de colza par hectare, soit de 1,2 à 1,4 tonnes d'esters méthyliques par hectare et par an. Les bilans énergétiques des filières de production des biocarburants sont favorables. Mais, d'un point de vue économique, avec les coûts d'accès au pétrole brut et sans incitation fiscale, les biocarburants ne sont pas compétitifs. L'emploi de biocarburants apporte une amélioration notable vis-à-vis de la protection contre l'effet de serre.

#### **6.1.3.2 L'Aquazole**

L'Aquazole est un carburant se présentant sous la forme d'une émulsion d'eau (13%) dans du gazole (85%), stabilisée par des tensioactifs non ioniques (2 %). Cette émulsion eau – gazole fonctionne suivant le principe d'une baisse de température de combustion par l'ajout d'eau dans le gazole. Il est utilisable par tous les véhicules Diesel sans modification technologique. Ce carburant produit par Elf-Antar permet, selon les études d'Elf, de réduire les rejets atmosphériques de 15 à 30 % pour les NO<sub>x</sub>, de 10 à 50 % pour les particules, de 30 à 80 % pour l'opacité des fumées émises, ces valeurs variant en fonction du type de moteur, de son âge, et des conditions d'utilisation ; Ce carburant n'étant pas commercialisé par les réseaux de station-service, il est réservé aux flottes disposant d'installations de stockage. Par ailleurs ce carburant a des contraintes de stockage qui ne peut excéder 3 mois. La consommation de carburant est accrue de 10 % en volume du fait de la présence d'eau.

D'après les recommandations de l'ADEME pour l'Aquazole :

L'utilisation d'Aquazole permet une dépollution rapide et peu onéreuse de l'ensemble d'un parc avec quelques précautions

Cette utilisation doit se faire avec une remise en état du moteur sur les véhicules anciens, ne pas l'utiliser avec des filtres à particules, ni sur des moteurs récents EURO 3 car l'utilisation de l'Aquazole dans ce dernier cas n'a pas été encore validée (ADEME, 2002)

## **6.2 Les Véhicules au GPL et GNV**

Ces deux filières sont caractérisées par une offre technologique existante depuis plusieurs années et constituée de véhicules équipés d'usine ou des véhicules ayant subi une transformation après leur mise en service (véhicules dits de seconde monte).

Pour les véhicules lourds, bus ou benne à ordures ménagères, il s'agit également de véhicules transformés directement par les constructeurs.

L'offre existante pour ces deux filières peut être schématisée pour les poids lourds comme suit :

#### *Le GNV*

L'offre est constituée de motorisations conçues sur base de bloc diesel. Actuellement, trois technologies s'affrontent sur le marché principal de ce carburant pour les autobus :

- une technologie traditionnelle utilisant un carburateur et préparant un mélange pauvre avec catalyseur d'oxydation ;

- une technologie concurrente basée sur la combustion d'un mélange stoechiométrique et utilisant un catalyseur à trois voies ;
- enfin, une technologie plus élaborée basée sur l'injection multipoint phasée accouplée à un catalyseur d'oxydation (mélange pauvre).

Les résultats de la campagne d'évaluation des émissions d'autobus semblent montrer que cette dernière technologie offrent des résultats de dépollution très supérieurs aux deux autres.

#### *Le GPL*

L'offre est très rare actuellement car seule une motorisation est proposée (DAF) : elle utilise le principe de la combustion stoechiométrique en se basant sur une technologie d'injection électronique multipoint.

L'état d'avancement technologique des véhicules GPL et GNV est différent selon qu'il s'agit de véhicules légers ou lourds. Bien qu'ayant dépassé le stade du prototype, les véhicules proposés ont un degré de maturité technique qui est loin d'atteindre le niveau d'avancement des filières classiques (essence et diesel).

Les potentialités de ces deux carburants doivent se concrétiser par la mise en place de technologies pour véhicules qui soient performantes et robustes, afin de montrer de réelles réductions d'émissions polluantes.

Dans son rapport le CIVP propose pour les prochaines années deux scénarii :

- Hypothèse haute : une motorisation dédiée, cela consiste à la mise au point de moteurs spécifiques en appliquant les

concepts probables de dépollution et de limitation des consommations dédiés aux carburants alternatifs. Cette hypothèse est indispensable pour atteindre les normes EURO IV et permettre la généralisation des OBD.

- Hypothèse basse : laisser aller, il s'agit ici de maintenir la présence d'une offre alternative en minimisant les coûts. La satisfaction des règlements futurs se fait alors en limitant le recours à des composants spécifiques.

Les développements technologiques prévisibles pour les poids lourds, selon ces hypothèses et à l'échéance prévue pour EURO IV (soit 2005-2006), sont indiqués ci-dessous :

#### *Le GNV*

Hypothèse haute : omniprésence de l'injection électronique multipoint, phasée en mélange pauvre avec mise en place de combustion stratifiée permettant une réduction de la consommation. Auto-adaptation du contrôle moteur à la composition du gaz naturel (variable). Couplage éventuel avec une catalyse DeNO<sub>x</sub> (si disponibilité).

Hypothèse basse : pour EURO III , maintien de la technologie actuelle la plus avancée (modifications mineures éventuelles).

Absence d'une nouvelle offre pour les étapes réglementaires suivantes : maintien d'un marché de niche pour la durée de vie des installations fixes déjà installées (dans les réseaux de bus).

## **6.3 Les Véhicules électriques**





