

SOFRETU

RATP
direction des études générales

NEUCHÂTEAU

un système de transport
basé sur le site propre au sol

document provisoire n°2
juillet 1975

NEUCHATEAU

Un système de transport basé sur le site propre au sol

PLAN GENERAL

- RESUME ET CONCLUSIONS.
- PREMIERE PARTIE : LES DONNEES DU PROBLEME.
 - 1.1. Contexte politique et socio-économique.
 - 1.2. Analyse des problèmes urbains : Neuchateau.
 - 1.3. Le transport public, instrument d'une politique urbaine.
- DEUXIEME PARTIE : LES OPTIONS TECHNIQUES.
 - 2.1. Configuration du réseau et choix du véhicule.
 - 2.2. Comparaison économique entre moyens de transport collectif.
- TROISIEME PARTIE : LES CONSEQUENCES D'UN CHOIX.
 - 3.1. L'insertion géométrique des lignes dans le tissu urbain.
 - 3.2. Exploitation et conflits de circulation.
 - 3.3. Application à Neuchateau d'une politique favorable aux transports publics.
- ANNEXES :
 - A1 : Les caractéristiques d'un tramway moderne
 - A2 : Comparaison économique entre modes de transport collectif en site propre. (Coût)
 - A3 : Rentabilité de la mise en site propre pour des trafics moyens.
 - A4 : Utilisation des tramways en site propre pour trafics élevés.
 - A5 : SDAU Neuchateau : comparaison des montants d'investissement.
 - A6 : " " : " des coûts de fonctionnement.

RESUME ET CONCLUSIONS

CHAPITRE 1.1. LES OBJECTIFS

La période qui s'étend de la fin de la seconde guerre mondiale à la crise pétrolière de 1973, a été marquée en Europe occidentale par le développement du phénomène automobile. Dans les mentalités, la notion de déplacement de voiture particulière s'est substituée à celle de déplacement de personne. Par un phénomène, d'ailleurs fréquent, de glissement de finalité de la fonction (déplacement) vers le développement d'un outil (le véhicule), la planification des transports urbains s'était donc réduite essentiellement à l'organisation de la circulation et du stationnement des voitures.

Les signes précurseurs d'un certain renversement de tendance se sont multipliés depuis une dizaine d'années ; la création des premiers couloirs réservés pour autobus (1964) et celle des premières rues piétonnes (1967) allaient à contre-courant de la politique antérieure. A partir de 1968, la protestation contre les atteintes à l'environnement urbain dues à la voiture n'a plus été seulement le fait de marginaux. En 1970, les habitants de Stockholm ont pu s'opposer avec succès à la réalisation d'un important programme d'autoroutes urbaines. De telles oppositions se sont manifestées un peu partout et des projets ambitieux de voies routières urbaines ont été classés dans les archives.

La crise pétrolière a été le catalyseur d'une prise de conscience des méfaits de la politique antérieurement suivie en matière de transport urbain. Une certaine évolution est donc aujourd'hui entamée. Elle conduit à penser que la planification des déplacements dans les villes doit se faire en donnant aux transports publics urbains un rôle accru.

Mais, pour remplir ce rôle, les transports publics urbains doivent franchir un seuil et subir une véritable mutation. Comment traduire en termes opérationnels les volontés de changement qui s'expriment ou vont s'exprimer de la part des responsables politiques des villes ? Comment éviter de proposer demain les solutions d'hier ? Des méthodes nouvelles ne s'improvisent pas dans la hâte. Elles se dégagent progressivement au cours d'échanges entre spécialistes de plusieurs disciplines en contact avec les problèmes concrets des élus et des exploitants locaux. L'étude "Neuchateau" est le résumé des idées retenues, des résultats constatés et des expériences accumulées au cours de ces échanges et de ces contacts.

Elle part d'une triple constatation :

- la difficulté des déplacements dans les villes ne résulte pas de carences technologiques dans le domaine des transports publics urbains, mais de la diminution du rendement de la voirie entraînée par l'afflux des voitures particulières,
- la planification des transports urbains est conditionnée par les aspects politiques, sociaux et urbanistiques du problème : les solutions qu'elle propose doivent donc tenir le plus grand compte des opinions dominantes tout en s'efforçant d'anticiper sur leur évolution,
- les projets et programmes d'intérêt général les plus séduisants, les plus cohérents et les mieux justifiés économiquement, dont le seul défaut est d'être onéreux, ne résistent généralement pas à une confrontation avec les réalités financières.

Les solutions à mettre en oeuvre ont donc les caractéristiques suivantes :

- elles ne font pas appel à l'innovation technique (sans exclure évidemment la possibilité d'en bénéficier) mais elles traitent le mal à sa racine, c'est-à-dire au niveau de l'utilisation de la voirie,
- elles auraient pu être proposées il y a plusieurs années, mais les esprits n'étaient pas suffisamment préparés à en admettre le bien fondé ; elles n'étaient donc pas opportunes,
- elles tendent à minimiser les dépenses d'investissement en proposant, au lieu de la construction d'infrastructures nouvelles onéreuses, une organisation et une gestion des infrastructures existantes différentes de celles qui sont traditionnellement considérées comme les seules concevables.

CHAPITRE 1.2. NEUCHATEAU

Pour illustrer une analyse globale de la fonction transport dans la ville, dans ses relations avec les autres fonctions urbaines et avec le développement urbain, on a choisi de présenter l'exemple d'une ville de 500.000 habitants. C'est en effet pour les villes approchant cette taille que les solutions "transport public" actuelles sont les plus mal adaptées ; les villes moins importantes, jusqu'à 200.000 habitants pour fixer les idées, peuvent se satisfaire de l'amélioration du réseau existant ; les plus grandes villes, les villes "millionnaires", sont dotées d'un métro ou en ont un en construction et disposent donc d'un outil pour la planification des transports publics urbains.

Pour des raisons d'opportunité, le procédé choisi pour présenter le type de solution applicable dans une ville de 200.000 à 1 million d'habitants, est celui de la ville-témoin. Cette ville, baptisée Neuchateau, n'est pas une

ville réelle. Mais, par sa topographie, l'organisation de son centre, son noyau historique, elle est représentative d'un certain nombre de métropoles régionales françaises.

Lorsqu'on aborde une étude de transport dans une telle ville avec l'objectif de faire jouer aux transports publics un rôle important, les perspectives de développement urbain sont déjà tracées. Pour les raisons indiquées précédemment, le principe qui domine généralement les études d'urbanisme est de privilégier le véhicule individuel pour les déplacements de personnes. Les transports collectifs ne sont considérés que comme un moyen de transport d'appoint aux heures de pointe et pour le déplacement des personnes non motorisables, les "captifs".

Pour Neuchâteau, les conséquences de perspectives de développement conformes à ces vues ont été analysées. Si elles constituent une vision cohérente d'un avenir possible, ces perspectives de développement présentent quatre inconvénients majeurs, énumérés ci-dessous :

- . elles sont coûteuses en infrastructures routières : autoroutes urbaines, échangeurs, voies rapides, parkings doivent absorber pendant longtemps des crédits considérables tout en aboutissant à terme à la saturation du réseau,
- . elles subordonnent les localisations d'habitat et d'activités futures à la capacité du réseau routier ; le souci dominant est de limiter les déplacements vers le centre en éparpillant les activités, ce qui contrarie l'évolution naturelle du développement urbain et tend à faire des nouveaux habitants des utilisateurs obligés de la voiture,
- . elles sont peu conformes aux exigences en matière d'environnement : malgré le freinage du développement du centre, il faut y créer des percées routières importantes ; les "rénovations", "restructurations" du tissu et "remodelages" de quartiers servent surtout à dégager ces percées et contribuent à créer un type d'urbanisation favorisant l'emploi de l'automobile,
- . elles enferment l'évolution dans un cadre rigide : les voies routières étant longues à réaliser et conditionnant le développement urbain, sont entreprises très longtemps à l'avance et interdisent d'envisager d'autre organisation que celle imaginée au départ.

Le type d'urbanisation propice à une desserte optimale par les transports publics est différent de celui qui résulte du rôle privilégié donné à l'automobile individuelle. Une certaine discontinuité dans la densité d'habitat, une extension de la ville suivant certains axes plutôt qu'en surface et le non-éparpillement des secteurs d'activité sont favorables à l'accessibilité par les transports en commun.

Concevoir un système de déplacement qui donne un rôle important au réseau de transport public exige donc de réexaminer les modalités de développement de la ville, la programmation des investissements de voirie et en définitive d'introduire une conception différente de la vie urbaine.

Cette révision nécessaire des objectifs ne peut être que difficile : les solutions pré-existantes ont pour elles d'être bien décrites, cohérentes et de bénéficier de toutes les pesanteurs, de toutes les inerties. Mais, si le problème de fond est éludé, seules sont possibles quelques améliorations marginales.

CHAPITRE 1.3. - QUEL RESEAU DE TRANSPORT PUBLIC ?

Pour concrétiser une nouvelle politique des déplacements dans la ville, il faut définir un type de réseau de transport public répondant à quatre conditions :

- . permettre une bonne desserte de l'agglomération,
- . être suffisamment flexible pour ne pas hypothéquer l'avenir lointain,
- . être opérant à court terme (3 à 5 ans) pour accompagner le développement et non être à sa remorque,
- . exiger des charges d'investissement modérées et des dépenses de fonctionnement aisément prévisibles.

CHAPITRE 2.1. - CONFIGURATION DU RESEAU ; VEHICULE

Trop coûteux d'établissement, les systèmes en site propre intégral sont écartés qu'il s'agisse du métro classique ou de systèmes encore à l'étude dont la durée de mise au point est en outre incertaine.

Par contre, les conditions énoncées précédemment tendent à privilégier toute solution fondée sur une meilleure utilisation des infrastructures existantes. Lorsqu'on raisonne sur des déplacements de personnes, et non sur des trafics de véhicules, l'amélioration de l'utilisation de la voirie passe par le partage de l'espace entre les deux modes de transport public et individuel, en fonction d'une hiérarchie des besoins et des possibilités offertes par la configuration du réseau de voirie.

Il a donc été posé en principe que, sur les axes où il y a risque d'engorgement, c'est-à-dire où l'infrastructure ne peut satisfaire la demande de transport telle qu'elle se manifeste actuellement (avec voitures individuelles en grand nombre) et telle qu'elle est organisée (circulation des véhicules de transport public en voie banalisée), il y a *partage du domaine de circulation* emprise protégée pour le transport public avec délimitation matérialisée, c'est-à-dire site propre au sol. La mise en souterrain est réservée à la traversée de zones où il est physiquement impossible d'insérer le transport public dans la rue.

Différentes contraintes relatives au fonctionnement du transport public

conduisent à un réseau hiérarchisé à deux niveaux :

- . les axes secondaires assurent la desserte des zones à faible émission de trafic ; le transport public y utilise la voirie banalisée,
- . les axes principaux assurent la desserte des poles principaux et collectent les flux de voyageurs apportés par les axes secondaires. Coïncidant avec les voies routières les plus chargées, ils sont en site propre au sol, en nombre restreint, et assurent le même rôle que les lignes de métro des très grandes villes, avec un trafic de voyageurs plus faible.

Sur les axes secondaires, l'autobus est le seul véhicule utilisable car c'est l'instrument idéal pour les trafics faibles et la circulation en voie banalisée. Sur les axes principaux en site propre au sol, d'autres véhicules peuvent lui être substitués.

Les trois types de véhicules opérationnels pour un transport urbain de masse, aptes à circuler au niveau de la voirie sont l'autobus, le trolleybus et le tramway. Chacun d'eux est susceptible de bénéficier d'améliorations ou d'innovations mais aucune d'entre elles ne pouvant aboutir dans un avenir proche, ils doivent être considérés dans leur conception actuelle.

Le choix du type de véhicule sur les axes à trafic lourd en site propre au sol est fonction de considérations de natures différentes.

L'autobus est le seul véhicule susceptible de circuler en voie banalisée comme en site propre. Il permet de diminuer le nombre de ruptures de charge imposées aux voyageurs, ruptures de charge qui sont un désagrément même lorsque le parcours est faible et la correspondance dans le temps assurée. En contrepartie, c'est le véhicule le plus bruyant et le plus polluant, et les tronçons souterrains exigent des installations de ventilation importantes.

Le trolleybus impose une ligne bifilaire d'alimentation électrique. Il est silencieux et non polluant mais pour des raisons de coût ne peut être utilisé sur les axes secondaires. Véhicule plus coûteux, installation d'alimentation et ruptures de charge, telles sont les contreparties de l'absence de nuisance lorsqu'on substitue le trolleybus à l'autobus.

Alors que l'autobus et, dans une moindre mesure, le trolleybus sont des véhicules connus pour lesquels il n'est pas nécessaire de fixer des caractéristiques, le véhicule appelé tramway moderne demande une étude spéciale (présentée à l'annexe n° 1). Il a les mêmes avantages et inconvénients que le trolleybus mais, en tant que système guidé, il permet en plus :

- . de réaliser des éléments de la capacité souhaitée,
- . de réserver une emprise plus étroite pour une même largeur du véhicule : la différence est de 1,00 m pour une emprise de voie double. De plus, il est possible d'utiliser, à capacité égale, des véhicules plus étroits (2,20 m au lieu de 2,50 m).

Le tramway traditionnel circulait le plus souvent dans la rue, mêlé à la circulation générale, comme aujourd'hui l'autobus. Le tramway moderne, qui circule en site propre au sol ou en site propre intégral, doit être un véhicule adapté aux exigences croissantes en matière de confort (pour les utilisateurs) et d'élimination des nuisances (pour les riverains).

CHAPITRE 2.2. - COMPARAISON ECONOMIQUE

L'examen détaillé des avantages et inconvénients des différentes solutions montre que pour la gamme de trafics envisageable dans les métropoles régionales de 200.000 à 1.000.000 d'habitants, le type de véhicule le plus approprié sur les axes principaux en site propre au sol, est le tramway en éléments de 180 ou 255 places, circulant dans certains cas en unités doubles.

L'autobus standard, qui permettrait de réaliser un réseau "unitaire" avec des tronçons de lignes en voie banalisée et des troncs communs en site propre, n'est plus la seule solution à considérer pour des trafics supérieurs à 1.500 voyageurs par heure. Se succédant à trop grande cadence, les véhicules ne peuvent pas bénéficier de priorités aux carrefours. Pour des trafics plus élevés, les véhicules, qui ne peuvent pas se dépasser, se gênent mutuellement aux arrêts, et l'avantage du site propre est perdu.

Le véhicule routier articulé, trolleybus ou autobus, peut constituer une alternative valable au tramway, pour des trafics maximaux allant jusqu'à 5.000 voyageurs par heure, à la condition que l'emprise du site propre puisse, sans dépense supplémentaire importante, être élargie partout de 1,60 m.

CHAPITRES 3.1. et 3.2. - INSERTION

La difficulté principale du site propre en voirie n'est pas d'ordre technique : elle tient à la rigidité des modes de raisonnement, au poids des structures ainsi qu'à la préférence fréquemment accordée aux solutions les plus coûteuses, mais les plus faciles à projeter et qui reportent à plus tard, au moment du financement, la confrontation avec le réel.

Dans le centre des villes, les contraintes d'insertion géométrique des différentes lignes du réseau de transport en commun en site propre (TCSP) dans la voirie peuvent conduire à réaliser certains tronçons en souterrain. Par contre, enterrer systématiquement le TCSP (ou le placer en viaduc) uniquement pour conserver à la circulation automobile l'usage de l'infrastructure au sol - insuffisante par définition - est une tentation qui, sauf cas particuliers, doit être surmontée ; y céder reviendrait en effet à transformer le projet de site propre au sol en projet de métro. Pour une ville moyenne, c'est

vraisemblablement le procédé le plus sûr pour que, la réalisation s'étalant sur une longue période, l'amélioration du fonctionnement du réseau de transport soit reportée de dix ou vingt ans, voire même qu'elle soit renvoyée aux calendes grecques.

La mise au point d'un plan de circulation et la gestion de l'ensemble du trafic (véhicules particuliers et transports publics) avec insertion d'un site propre au sol est techniquement réalisable dans toutes les grandes villes. Il suffit d'admettre préalablement que, pour certains déplacements, le transport public peut se substituer à l'automobile. En effet :

- . le site propre au sol pour transport public augmente considérablement la capacité totale d'une voie en *personnes transportées*, et n'exige aucune place pour le stationnement,
- . une politique de réduction de la circulation et du stationnement des voitures particulières dans le centre des villes est réaliste lorsqu'il existe un moyen convenable de se déplacer autre que l'automobile,
- . selon une enquête de l'IFOP réalisée à la demande du Ministère de l'Équipement en 1974, 66% des personnes interrogées estiment qu'on accorde trop d'importance à l'automobile et 78% qu'il faut prendre des mesures pour que le citoyen ait moins besoin de l'utiliser ; s'il est systématiquement informé sur les objectifs et les moyens, le public doit donc, dans son ensemble, accueillir favorablement le principe du site propre en voirie.

CHAPITRE 3.3. - APPLICATION A NEUCHATEAU

La mise en oeuvre d'une politique favorable aux transports publics à Neuchateau conduit à prévoir un réseau mixte comportant à l'horizon de l'étude :

- . 90 km de lignes en site propre au sol constituant les axes principaux exploités avec un tramway moderne ; ce réseau assure environ 60% des déplacements en transport public,
- . des axes secondaires exploités par autobus ; pour l'essentiel en voie banalisée mais comportant des aménagements de protection sur les axes parcourus par les principales lignes, sur une longueur de 150 km environ.

L'établissement de ce réseau et son exploitation suivant des normes qui en font un mode de transport attractif conduisent, pour l'ensemble des habitants de Neuchateau, à des améliorations importantes des conditions de vie par rapport à celles qui étaient impliquées par le schéma d'aménagement et de développement initial, essentiellement axé sur l'extension de l'utilisation de l'automobile. Ces améliorations se traduisent en particulier par :

- . la sauvegarde du centre : il ne s'agit plus d'en faire un centre d'affaires ceinturé de voies rapides, truffé de parkings, découpé de voies de dégagement et néanmoins promis à une progressive déchéance, mais le lieu de rencontre accessible à tous où sont rassemblées les activités qui caractérisent une métropole et appelé à un certain desserrement,
- . l'accessibilité aux emplois, aux commerces et aux loisirs non plus seulement aux *conducteurs d'automobile* mais à *l'ensemble de la population*.
- . la réduction des nuisances et des atteintes au paysage urbain : diminution du nombre d'automobiles en circulation dans le centre, remplacement des autobus par les tramways, moins de voies rapides, moins d'autoroutes.

Pour les autorités, la variante du SDAU favorable aux transports en commun présente également un certain nombre d'avantages. La réduction (par rapport au SDAU initial) de la part de l'espace urbain occupé par les infrastructures de circulation se traduit par :

- . une réduction des perturbations entraînées par les grands travaux,
- . une diminution des espaces expropriés,
- . Une diminution du nombre des immeubles à démolir et des occupants à reloger,

Ces améliorations importantes n'impliquent pas un accroissement des investissements de transport, car la construction des lignes de tramway et l'achat de la totalité du parc de matériel de transports publics sont compensés par la réduction de 25% de la longueur des voies rapides à construire et de 90% des places de parking public à construire dans le centre. Par contre, la politique adoptée permet une économie de 12% sur les dépenses de fonctionnement et de 14% sur les dépenses d'énergie.

Pour obtenir ces résultats, un changement dans les habitudes de déplacement des citoyens est nécessaire. Il ne s'agit pas d'un bouleversement puisqu'une fois le système de transport public en exploitation, un quart seulement des déplacements prévus initialement en véhicule particulier devront s'effectuer par le transport public. Mais, il faudra mettre en place un certain nombre de moyens : plan de circulation dissuasif et contrôle strict du stationnement. La difficulté principale réside dans le choix préalable d'une politique urbaine favorable aux transports publics. Du fait des incompatibilités énumérées précédemment, une telle politique ne consiste pas en effet à ajouter un service nouveau sans modifier quoi que ce soit, ce qui pourrait satisfaire tout le monde. Elle est d'abord une option d'urbanisme et exige des efforts dans plusieurs domaines : les objectifs de la planification, l'organisation du système de transport et les techniques d'exploitation du réseau de voirie doivent être assez radicalement changés

CHAPITRE 1.1. - CONTEXTE POLITIQUE ET SOCIO-ECONOMIQUE DE L'ETUDE

1.1.1. - LES GRANDES ETAPES DE LA PLANIFICATION DES TRANSPORTS URBAINS

Les concepts de planification et d'urbanisation sont récents ; les termes n'apparaissent dans le vocabulaire qu'après la première guerre mondiale. L'idée de planifier les transports urbains n'a pu réellement se développer qu'après la seconde guerre mondiale. Dans les pays industrialisés du monde occidental, ce développement a coïncidé avec l'essor de l'automobile et par conséquent il a été fortement influencé par le "fait automobile". On constate depuis 1945 une évolution rapide (au regard de l'évolution antérieure) dans la nature des problèmes appréhendés par la planification des transports et dans la façon de les appréhender. Dans cette évolution il est possible de distinguer trois époques, avec toutes les réserves qui s'attachent à une classification de ce genre : décalages importants d'un pays à l'autre, absence de délimitation nette entre étapes successives, manque d'homogénéité et de cohérence dans les attitudes et dans les décisions.

1.1.1.1. - Première époque : les années 1945-1960

La période qui suivit la seconde guerre mondiale fut caractérisée par l'apparition de l'automobile en tant que mode de transport urbain de masse ; elle n'était auparavant le moyen de déplacement habituel que d'une petite minorité. Cette période vit se développer les fonctions d'ingénieur de trafic, les techniques d'aménagement et d'exploitation de la voirie. Corrélativement, dans certains pays dont la France, les infrastructures de transport public urbain au niveau du sol, étaient à peu près supprimées ; une des raisons de cette suppression était le développement des surfaces de chaussée nécessaire à l'écoulement des flux croissants de véhicules individuels. De même les trottoirs des rues furent réduits au minimum.

Dans cette première époque, on considérait généralement que chacun des modes de transport -voiture particulière et transports publics- devait se développer en fonction de ses mérites propres et indépendamment l'un de l'autre, ou plutôt concurremment. La corrélation entre système de transport et urbanisme n'était pas très bien perçue. Pour chacun des modes, l'accent était plutôt mis sur des opérations locales et sur des améliorations à court terme que sur les conséquences moyen et à long terme.

1.1.1.2. - Deuxième époque - les années 1960-1970

Une évolution dans la façon d'appréhender les problèmes s'est fait jour au fur et à mesure que les planificateurs découvraient les conséquences à moyen terme

des tendances constatées :

- le développement de l'usage urbain de l'automobile conduisait à la dégradation des réseaux de transports publics utilisant la voirie banalisée ;
- l'adaptation de la ville traditionnelle à l'automobile en tant que moyen exclusif de transport conduisait, lorsque la ville dépassait une certaine taille (de l'ordre de 100.000 à 200.000 habitants) à des solutions très contestables du point de vue de l'urbanisme ; publié en 1962 en Grande Bretagne, le rapport Buchanan qui en faisait la démonstration fut pour beaucoup une révélation sur ce point.

Cette prise de conscience des problèmes à moyen terme a permis de mieux percevoir l'interaction entre le rôle du transport public et celui de la voiture individuelle. Mais l'époque se caractérisait par une très grande confiance dans les possibilités d'une expansion économique indéfinie et du progrès technique. On pensait donc qu'à terme il serait possible de permettre à tous de choisir son mode de transport pour se déplacer en milieu urbain. Dans cette perspective, il suffisait, pensait-on, de déterminer scientifiquement les investissements à réaliser.

A peu près partout on commença à projeter, puis à construire des nouveaux types d'infrastructures permettant d'augmenter la circulation et le stationnement des véhicules privés : voies rapides, autoroutes urbaines, vastes parkings souterrains ou à étages dans les centres.

Pour résoudre le volet "Transports Publics", deux moyens principaux furent utilisés ou envisagés :

- dans certains pays, mise en chantier d'opérations ayant pour but d'isoler les lignes de transport public de la circulation générale pour les rendre indépendantes de la congestion de la circulation et pour faciliter la circulation des véhicules : passages souterrains pour tramways, lignes de tramways souterrains, semi-métros, prémétros, etc...
- dans d'autres pays, recherche de moyens susceptibles de conduire aux mêmes résultats (séparation complète entre transport public et circulation générale), mais en utilisant les possibilités offertes par le progrès technique (métro suspendu, "Personal Rapid Transit" et dérivés) ou des procédés nouveaux d'exploitation faisant largement appel aux automatismes.

Dès cette époque, les interactions entre l'organisation du système de transport de la ville et l'évolution de l'urbanisation étaient à peu près correctement perçues, même si elles n'étaient pas toujours prises en compte.

1.1.1.3. - Le passé récent

A une période où l'on imaginait le progrès continu et indéfini, a succédé une période de doute et de remise en cause. Des craintes sont apparues sur la validité des prévisions chiffrées fondées sur l'extrapolation de tendances constatées au cours d'une ou deux décennies seulement.

Sous l'influence de l'attitude des citoyens devant l'évolution inquiétante du mode de vie urbaine, un net infléchissement s'est produit dans l'orientation de la planification des transports.

Aux considérations strictement économiques qui déterminaient auparavant à peu près seules la justification des décisions sinon les décisions elles-mêmes, so

venues s'ajouter d'autres motivations, de nature sociale et urbanistique.

Aux plans définitifs de développement, fondés sur le calcul d'un "avantage net actualisé" il apparaît à l'heure actuelle une tendance à substituer, en ce qui concerne les déplacements, la recherche d'une attitude, la définition d'objectifs généraux et de stratégies et à choisir des solutions flexibles réservant des possibilités d'évolution multiples, c'est-à-dire à substituer des *politiques* à des *plans intangibles*. Le calcul économique n'intervient qu'après, comme instrument et non comme critère unique de choix.

D'autre part, il est peu à peu apparu que les remèdes "classiques" à la congestion urbaine (décentralisation des emplois, dé-densification des zones d'habitat, dispersion des activités et construction d'autoroutes urbaines) ne résolvaient pas le problème de fond et faisaient surgir de nouveaux problèmes sociaux.

Ces solutions étaient-elles trop rigides, trop insensibles à la complexité de la vie urbaine, trop mal adaptées au citadin ?

Dans ce contexte, l'insertion du transport urbain dans l'ensemble des problèmes urbains, s'est trouvée facilitée. La planification est devenue plus globale et les problèmes ont été le plus souvent posés dans leur complexité. L'attitude vis-à-vis des transports publics a changé. Auparavant leur rôle dans la planification des villes était peu important. Ils étaient considérés comme un moyen de transport de second ordre, permettant aux personnes dépourvues de moyen de transport individuel de se déplacer et comme moyen de complément pour les déplacements aux heures de pointe.

Au contraire, deux conceptions se sont affirmées :

- *L'idée qu'il fallait déplacer des personnes et non des véhicules.*
- *La conception du transport public comme élément structurant du développement urbain plutôt que comme système de dépannage aux heures de pointe du trafic.*

Certaines villes nouvelles ont été conçues sur la base d'un système de transport collectif - RUNCORN, en Angleterre, est peut-être la première - et plusieurs villes existantes ont renforcé leur système de transport public et prévoient leur développement en fonction de celui-ci.

Cependant, dans d'autres cas, l'organisation des transports reste peu influencée par l'évolution décrite ci-dessus et reste basée sur la constatation que "l'automobile est un fait" et qu'il vaut mieux l'accepter et le prévoir.

Quel contenu donner à l'expression "l'automobile est un fait" ? Y a-t-il des solutions variantes aux plans de circulation actuels ? C'est à ces questions que s'efforce de répondre la présente étude.

1.1.2. - EVOLUTION SOCIOLOGIQUE

Une évolution de l'opinion a accompagné, et parfois provoqué, celle des conceptions en matière de transport urbain. Elle s'est traduite essentiellement par une amorce de changement d'attitude devant l'automobile et par des refus : refus des nuisances, révolte contre l'insuffisance des transports publics, refus des grandes infrastructures.

1.1.2.1. - L'évolution devant l'automobile

Du fait de sa grande diffusion, l'automobile commence à perdre son caractère de signe de statut social. La généralisation des limitations de vitesse sur route et les difficultés du stationnement en ville limitent le sentiment de puissance et de liberté qu'elle peut procurer. On entrevoit une époque où ceux qui n'en ont pas une utilisation quotidienne - c'est-à-dire surtout les habitants des grandes villes - abandonneront en proportion notable la *possession* d'un véhicule, préférant utiliser, concurremment avec les autres moyens de transport (taxi et transports collectifs pour la ville, train et avion pour les grandes distances), les facilités offertes par les abonnements de location. Ce phénomène de démotorisation, que l'on constate à Paris, ne peut évidemment se développer que dans les villes où les transports publics sont efficaces.

Pour l'économie des pays industrialisés, l'intérêt du développement de l'automobile est devenu moins évident. Différentes études ont mis en évidence la charge du secteur d'activité de l'automobile supportée par la collectivité, charge qui compense les taxes spécifiques des véhicules et des carburants, en particulier du fait des accidents. Enfin, pour tous les pays non producteurs de pétrole, ce secteur est globalement déficitaire en devises depuis l'augmentation du prix du brut.

Une enquête de l'Institut Français d'Opinion Publique réalisée à la demande du Ministère de l'Équipement et rendue publique en Novembre 1974, traduit bien cette évolution. 66 % des personnes interrogées estiment qu'on accorde trop d'importance à l'automobile et 78 % qu'il faut prendre des mesures pour que le citoyen ait moins besoin d'utiliser son automobile.

Dans la conscience collective, l'automobile commence donc à perdre sa valeur de symbole pour devenir plutôt un moyen, un instrument, avec ses avantages et ses inconvénients. La confrontation des idées concernant les problèmes de transport peut s'en trouver facilitée, dans la mesure où elle suscitera de moins en moins de réactions passionnelles.

1.1.2.2. - Nuisances

Les protestations contre les conditions de vie urbaine, bruit, pollution atmosphérique, accidents et enlaidissement du paysage, ne sont pas nouvelles. Ce qui est caractéristique de l'époque actuelle, c'est qu'elles aient cessé d'être le fait d'individualités, de spécialistes ou de secteurs d'opinion marginaux pour devenir un fait social et préoccuper les responsables politiques.

Bien que les nuisances urbaines ne soient pas toutes imputables aux transports - la pollution atmosphérique, par exemple, résulte principalement des appareils de chauffage domestique et de certaines activités industrielles - l'automobile individuelle est particulièrement visée par les protestations concernant les nuisances.

Dans le monde entier, mais surtout aux U. S. A. pour l'instant, les autorités nationales et municipales ont commencé à réagir contre les nuisances de la voiture particulière. Des lois contre l'émission de polluants par les voitures ont été proposées ; les réglementations existantes ont été renforcées. Les constructeurs eux-mêmes recherchent des moteurs moins polluants et produisant moins de bruits et de vibrations.

Sur le plan sécurité, un grand effort est lancé pour diminuer les taux d'accident qui augmentaient continuellement dans tous les pays.

On a surtout envisagé jusqu'ici deux sortes de moyens : moyens externes (contrôle de plus en plus sévère des vitesses) et moyens internes (ceintures de sécurité, voitures plus robustes etc...)

Cependant ces efforts ont pour objectif principal d'améliorer la sécurité de l'automobiliste, ce qui ne constitue en zone urbaine qu'une partie du problème de sécurité car les accidents y font plus de victimes parmi les piétons et les deux roues que chez les occupants d'automobile.

1.1.2.3. - Insuffisance des transports publics

La dégradation du service offert par les transports publics touche particulièrement les personnes démunies de moyen de transport individuel, c'est-à-dire actuellement la majorité de ceux qui sont susceptibles de se déplacer et, à terme, dans l'hypothèse d'une motorisation "intégrale", environ le tiers des ménages. Elle touche aussi, dans les ménages "motorisés" ceux des membres de la famille n'ayant pas la ou les voitures à leur disposition.

Les émeutes de Watts, à Los Angeles en 1966 ont été attribuées à l'absence de transport en commun dans cette ville, transformant les quartiers pauvres en véritables ghettos. Depuis, diverses manifestations de mécontentement ont eu lieu sporadiquement, surtout dans les très grandes villes. Mais les mouvements de ce genre ne provoquent pas par eux-mêmes une prise de conscience du problème, en dehors des cercles de sociologues et urbanistes et de certains syndicats ouvrier

1.1.2.4. - Refus des grandes infrastructures urbaines

Les grandes infrastructures de transport (autoroutes, viaducs, tunnels, etc...), réalisations prestigieuses justifiées par l'usage intensif qu'elles connaissent dès leur mise en service, présentent cependant les inconvénients suivants :

- elles sont très coûteuses,
- leur construction nécessite d'importants chantiers qui perturbent les quartiers traversés pendant la durée des travaux,
- elles entraînent souvent des expropriations et des déplacements d'habitants,
- malgré le renforcement des mesures mises en place pour minimiser les nuisances qu'elles engendrent pour les riverains, certaines de ces nuisances peuvent subsister,
- elles marquent de façon définitive le tissu urbain.

Dans certains cas, on a donc préféré rejeter l'idée de l'infrastructure plutôt que d'avoir à en supporter les inconvénients.

Les premières réactions de rejet à l'encontre d'infrastructures programmées furent assimilées à des attitudes passéistes, nostalgiques, d'attardés adversaires du progrès. Mais les résonnances qu'elles rencontrèrent dans les populations citadines conduisirent à s'interroger et à prendre en considération des problèmes d'environnement auparavant passés sous silence ou minimisés.

Le nombre de manifestations populaires qui conduisent à l'abandon de projets importants ne cesse de croître. L'exemple le plus connu est celui de la ville de Stockholm qui, par suite de l'opposition active de nombreux habitants, a dû restreindre considérablement ses projets d'autoroute. Dans d'autres cas cette opposition se manifeste de façon légale, lorsque les procédures le permettent : le refus de la population de Zurich, par référendum ou "votation", de voir construire un réseau de métro coûteux a surpris les autorités qui n'avaient pourtant pas ménagé leur peine pour démontrer que c'était la seule solution aux problèmes de transport de cette ville.

Parfois enfin, ce sont les élus locaux qui se font les interprètes de leurs électeurs pour s'opposer à des réalisations prévues par des administrations nationales. C'est ce qui s'est passé à Toulouse en 1973.

Dans tous les cas, la signification des protestations et de l'invitation est approximativement la même : "trouvez des solutions moins coûteuses, moins radicales, plus souples ! ne bouleversez pas l'écologie urbaine par le bruit, les vibrations et la pollution ! résolvez plus complètement le problème des déplacements par d'autres méthodes que la multiplication des ouvrages d'art !".

1.1.3. - LES REALISATIONS LOCALES SIGNIFICATIVES

L'évolution sociologique dont certains aspects viennent d'être esquissés, est à l'origine des changements fondamentaux dans les méthodes de planification que l'on a pu noter dans un passé récent. Mais elle s'accompagne également de réalisations et d'expériences localisées qui, prises ensemble, affirment une tendance.

1.1.3.1. - Les rues piétonnes

Un phénomène tout à fait parallèle aux tendances constatées ci-dessus est celui des rues réservées aux déplacements à pied dans le centre des grandes villes ; dans certains cas, il peut s'agir de véritables quartiers.

Du point de vue de la planification des transports, il est intéressant de noter qu'il a été possible de soustraire à la circulation et au stationnement des artères qui écoulaient auparavant un trafic automobile notable.

Malgré l'extrême variété des problèmes posés par de telles transformations, il a toujours été possible de trouver des solutions satisfaisantes pour la desserte des riverains, les livraisons et les autres activités exigeant le passage de véhicules automobiles. Pour trouver les compromis nécessaires, il a fallu procéder à une analyse minutieuse avec la participation de tous les intéressés : riverains, commerçants, police, etc... .

Lorsqu'elles sont radicales, qu'elles comportent l'aménagement des chaussées et des abords et qu'elles ménagent les activités locales et commerciales antérieures, ces transformations sont généralement accueillies favorablement par tous, y compris les commerçants pourtant les plus réticents dans la phase initiale. Le succès des rues piétonnières est conditionné par l'accessibilité du quartier : possibilité de stationnement des véhicules particuliers à proximité et desserte par une ou plusieurs lignes de transport public. Il est favorisé par des aménagements de mobilier urbain - bancs, bacs à fleurs - agrémentant ces lieux de promenade et de détente.

1.1.3.2. - Les pistes réservées pour autobus

Les premières pistes de circulation réservées aux autobus, trolleybus ou tramways ont été créées en 1964. Elles ont marqué un revirement de l'attitude des autorités chargées d'organiser la circulation. Toute l'évolution précédente était guidée par deux objectifs :

- soustraire le transport public du niveau de la circulation générale en construisant des tronçons souterrains, solution appliquée en Allemagne Fédérale pour les lignes de tramways,
- appliquer au transport public le droit commun du code de la route, solution appliquée notamment en France et en Grande Bretagne ; un des buts de la suppression des tramways avait été de remplacer un système ferroviaire - auquel le code de la route confère une priorité sur les véhicules routiers respectée généralement en raison de la masse des véhicules, et de l'impossibilité où ils sont de s'écarter de leur voie - par des véhicules routiers a priori justiciables d'aucun privilège.

Un pas supplémentaire a été franchi avec l'installation dans les rues à sens unique de pistes pour autobus à contre sens de la circulation générale. Ces nouvelles réservations nécessitaient en effet des aménagements (refuges, signalisations, adaptation des feux aux carrefours) et engageaient donc un peu plus les autorités dans la politique d'aménagement esquissée précédemment. Les réservations à contre sens, mieux respectées que les autres, permettaient en outre d'assurer l'itinéraire retour sur le même axe malgré les sens uniques, ce qui représentait un avantage pour la clientèle.

Pour améliorer le respect des pistes réservées aux autobus circulant dans le même sens que les voitures, la matérialisation de la séparation, même par une simple bordurette franchissable, est un facteur prépondérant ; elle est appliquée dans certaines villes et permet d'alléger la surveillance.

Le plus souvent, les réservations de pistes pour autobus ne se font pas au détriment de la capacité de circulation des voies empruntées, mais entraînent la suppression de places de stationnement le long des trottoirs. Par conséquent, elles peuvent dans certains cas, contribuer à la fluidité du trafic. Elles sont d'ailleurs bien acceptées par les automobilistes.

La priorité au carrefour pour le transport public, est une mesure d'accompagnement des pistes réservées. Elle conduit à superposer à un *partage de l'espace* réalisé pour les circulations parallèles, un *partage dans le temps*. Elle accentue la dichotomie entre le transport public de personnes et les autres circulations. Les progrès dans le contrôle de la signalisation permettent maintenant de mettre en oeuvre des solutions souples avec commande des feux par le véhicule et compensation de cycle.

1.1.3.3. - Rues réservées aux piétons et aux transports publics.

Les rues réservées aux piétons et au transport public sont encore relativement rares, mais il en existe en France, en R.F.A., en Grande Bretagne et en Suisse. L'exemple le plus ancien est la Bahnofstrass de Zurich.

Quels critères ont servi à déterminer une telle disposition ? Dans certains cas la largeur de la rue ne permettait pas la coexistence de trois types de circulation : automobile, transport public sur piste réservée et piétons.

Mais la plupart du temps la largeur n'est pas seule en cause. Les rues concernées sont très commerçantes avec de fortes densités de piétons. Seul le transport public peut satisfaire des normes suffisantes de sécurité pour les piétons, d'accessibilité pour les déplacements domicile-commerce et de capacité pour les flux de passagers.

Les rues réservées aux piétons et aux transports publics sont généralement les rues les plus commerçantes de la ville. C'est le cas de quelques villes françaises (Besançon, Grenoble et Marseille par exemple) ; c'est aussi le cas à Zurich et à Londres (Oxford Street).

1.1.3.4. - Politique de stationnement

Pour ceux qui ont une connaissance superficielle des problèmes de déplacements urbains, l'engorgement du centre des villes a pour cause principale l'insuffisance des places de stationnement. Cette opinion commune était naguère acceptée par les autorités et les règlements relatifs à la construction de locaux d'habitation ou de bureaux, imposaient depuis longtemps des taux minimaux de places de garage. De même les autorités encourageaient la construction de parkings en étages et en souterrain souvent dans le domaine public. La construction des garages s'est donc développée pour répondre à des préoccupations de nature tactique plutôt que stratégique, voire même sans autre préoccupation que la rentabilité des capitaux investis.

Or il y a évidemment une corrélation entre le nombre de places de stationnement dans le centre et le flux des véhicules sur les itinéraires qui y conduisent. Une politique de transport intelligente comporte en particulier un équilibre entre capacité de stationnement et capacité de la voirie. Cependant ce principe n'a été admis que fort tard et on commence seulement, dans certaines villes, à appliquer les règles qui en découlent :

- fixation d'un maximum, et non plus d'un minimum, pour les places de garage dans les constructions nouvelles de bureaux,
- attribution de certaines places de stationnement le long des trottoirs exclusivement aux résidents du quartier, moyennant le paiement d'une redevance,
- limitation de la construction de parkings publics dans les centres et du nombre de places le long des trottoirs,
- généralisation du stationnement payant qui permet en particulier d'assurer une "rotation" et d'éviter la circulation pour recherche de place.

Le contrôle de la circulation par limitation du stationnement dans le centre pour les non résidents du quartier ne peut constituer qu'un volet d'une politique d'ensemble pour les déplacements. En effet, il aboutit, entre autres résultats,

à limiter l'accessibilité du centre par voiture particulière et il faut en compensation que l'accessibilité par transport public soit améliorée.

Mais il permet une circulation plus fluide, ce qui est bénéfique aux taxis et aux transports publics de surface. C'est ainsi qu'à Londres, où la restriction du stationnement dans le centre est beaucoup plus sévère qu'à Paris mais où la longueur des pistes réservées pour autobus y est très inférieure, la vitesse commerciale des autobus est supérieure de 30 % à celle des autobus du réseau parisien.

1.1.3.5. - Expériences de promotion des transports publics

Jusqu'à une période récente, la préoccupation principale des autorités publiques au sujet des transports collectifs urbains était d'ordre budgétaire : ne pas charger les finances locales par un déficit d'exploitation, était souvent l'objectif prioritaire. L'exploitation par un concessionnaire "aux risques et périls" était naguère considérée comme le moyen idéal d'assurer le service public, sans considération de la dégradation de la qualité du service auquel donnait lieu ce type de concession.

Les expériences de promotion de transport urbain, consistant à améliorer massivement le service offert pour attirer un nombre plus grand de voyageurs, ont tourné le dos à cette notion étroite de la rentabilité et marqué une étape dans la globalisation du problème des déplacements urbains. Elles ont permis de constater l'élasticité de la demande, par rapport à la fréquence, à la vitesse et à la régularité. Elles ont mis en évidence l'importance d'une information préalable massive. Elles ont prouvé que la désaffection du citoyen pour le transport public résultait de la dégradation de la qualité du service et non d'une préférence irrationnelle et générale pour la voiture individuelle. Egalement, on commence à trouver naturel que le déficit des transports urbains (service public) soit financé par les collectivités.

1.1.4. - QUELQUES CONCLUSIONS SUGGEREES PAR L'EVOLUTION SOCIO-POLITIQUE

L'évolution des conceptions en matière de planification et des attitudes sociales ainsi que les opérations et expériences telles qu'elles sont précédemment décrites, représentent une certaine schématisation d'une réalité multiforme. Mais ce schéma correspond approximativement à une réalité dans un nombre de villes suffisamment grand pour qu'il soit possible d'en tirer quelques conclusions. Nous avons retenu ci-dessous celles de ces conclusions qui paraissent devoir guider l'action des planificateurs et techniciens des transports urbains :

- tout d'abord, il apparaît que les esprits sont prêts à admettre une politique des déplacements urbains vraiment nouvelle ; l'amélioration marginale de l'existant, l'extrapolation des tendances constatées ne correspondent plus aux données nouvelles de l'environnement socio-économique, et une proportion croissante des personnes concernées en prend conscience,

- une planification des transports doit maintenant prendre en compte, en plus des problèmes de déplacement eux-mêmes, tous ceux qui lui sont liés ; des critères tels que "le libre choix du moyen de transport", "la durée des déplacements", "l'équilibre économique interne de la fonction transport" sont dépassés ou insuffisants ; l'objectif principal doit avoir un caractère plus global : améliorer le fonctionnement de la ville, accroître l'agrément de la vie des citoyens, favoriser le développement harmonieux de l'agglomération.

- un reclassement des priorités, un rééquilibrage des moyens de déplacement utilisés dans la ville sont nécessaires ; ils passent obligatoirement par un accroissement important du rôle des transports publics ; dans ce domaine, il faut trouver des solutions à l'échelle des changements nécessaires et non pas seulement des améliorations dans le cadre existant ; il faut franchir un seuil, organiser une véritable mutation,

- si les esprits sont prêts à un changement de politique, ce ne peut être qu'en faveur de solutions qui apportent des résultats tangibles à court terme et n'hypothèquent pas trop l'avenir lointain ; les programmes rigides et ambitieux qui doivent régler tous les problèmes... dans 15 ou 20 ans, ne sont plus crédibles d'une part, on peut toujours craindre que sacrifier l'avenir proche à l'avenir lointain soit un marché de dupe ; d'autre part cet avenir lointain apparaît trop incertain, trop insaisissable pour qu'on puisse admettre de l'enfermer dans les extrapolations des constatations actuelles.

Le rôle du technicien des transports urbains est de traduire en propositions concrètes les aspirations plus ou moins diffusées, les idées qui émergent, les tendances que l'on peut discerner. Les solutions qu'il propose doivent donc avoir deux caractéristiques d'ailleurs complémentaires :

- être opérantes dans un délai relativement court, le temps d'en étudier les modalités d'application, de dégager un consensus et de mettre en oeuvre les premières applications, c'est-à-dire 3 à 5 ans plutôt que 15 à 20 ans,

- être suffisamment flexibles pour ne pas hypothéquer trop l'avenir lointain, c'est-à-dire en particulier comporter le minimum d'ouvrages importants et d'infrastructures lourdes.

Des solutions dans un domaine aussi complexe, ne s'improvisent pas dans la hâte elles se dégagent progressivement au cours d'échanges entre spécialistes de plusieurs disciplines. L'étude "Neuchâteau" est le témoignage de tels échanges. Il a paru intéressant de la présenter à ceux que préoccupe le problème des déplacements dans les grandes villes, qu'ils soient responsables politiques, urbanistes ou techniciens des transports.

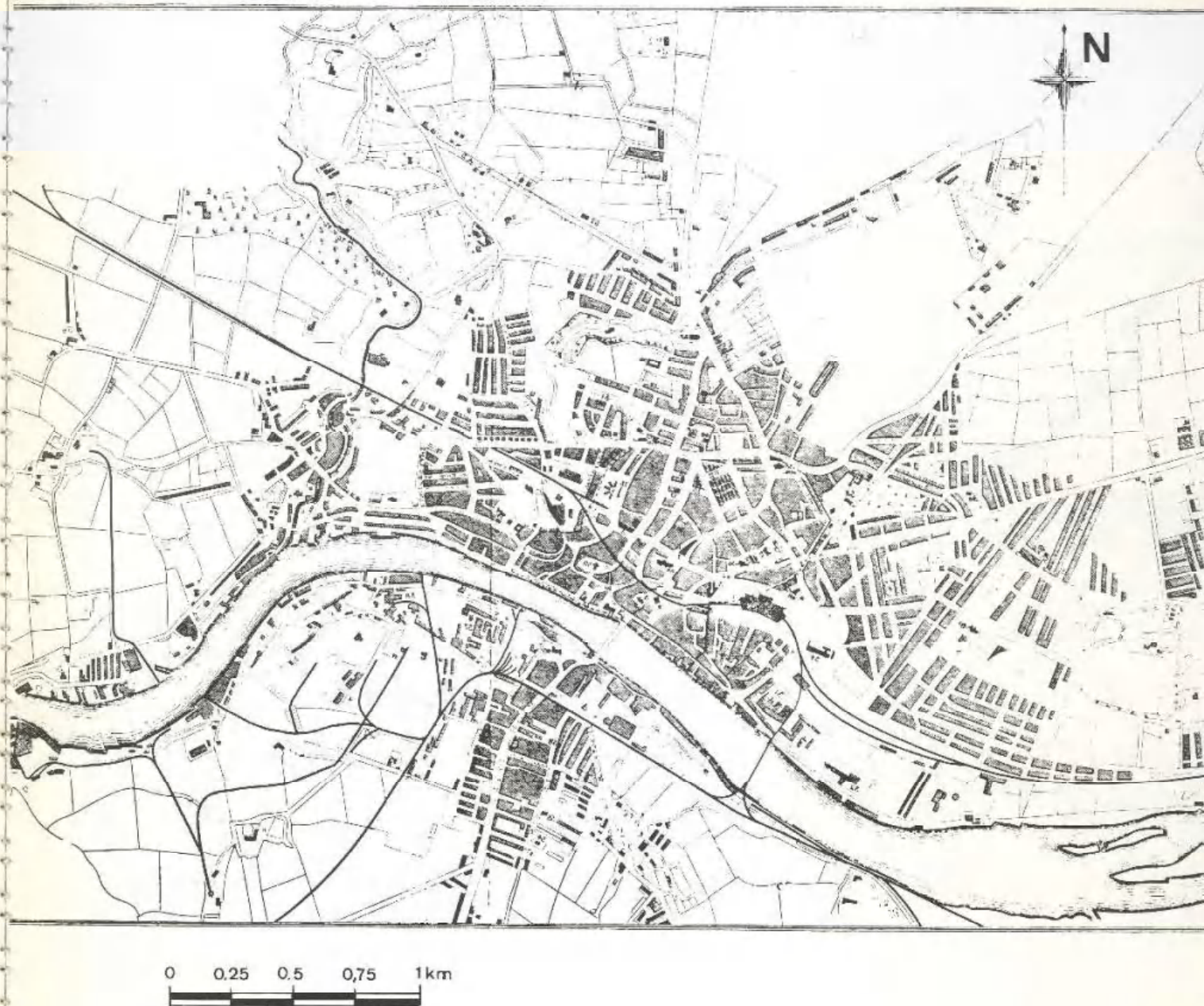
Dès lors que leur dimension justifie l'emploi systématique d'un moyen de transport pour les déplacements d'une partie importante de la population, à peu près toutes les villes ont des difficultés dans le domaine de la circulation. Mais les problèmes ne se posent pas partout dans les mêmes termes.

Pour les villes moyennes, de moins de 200.000 habitants pour fixer les idées, les moyens d'un redressement sont assez facilement à portée de la main pour peu que l'on s'applique à mettre en place un plan de circulation intelligent et à renforcer le service de transport public existant pour le rendre efficace. En France, la ville de Besançon présente un bon exemple du type d'action à entreprendre dans ce domaine.

Les très grandes villes, un million d'habitants et au-dessus, posent des problèmes à une autre échelle. Mais en France, elles disposent en matière de transport en commun, d'un instrument, le métro, qui constitue une fois en service, une base solide pour ordonner une politique d'urbanisme et de transport. Dans ces villes les difficultés sont d'abord liées au financement, ensuite à l'organisation et aux institutions, mais la voie est tracée assez clairement en matière de planification urbaine.

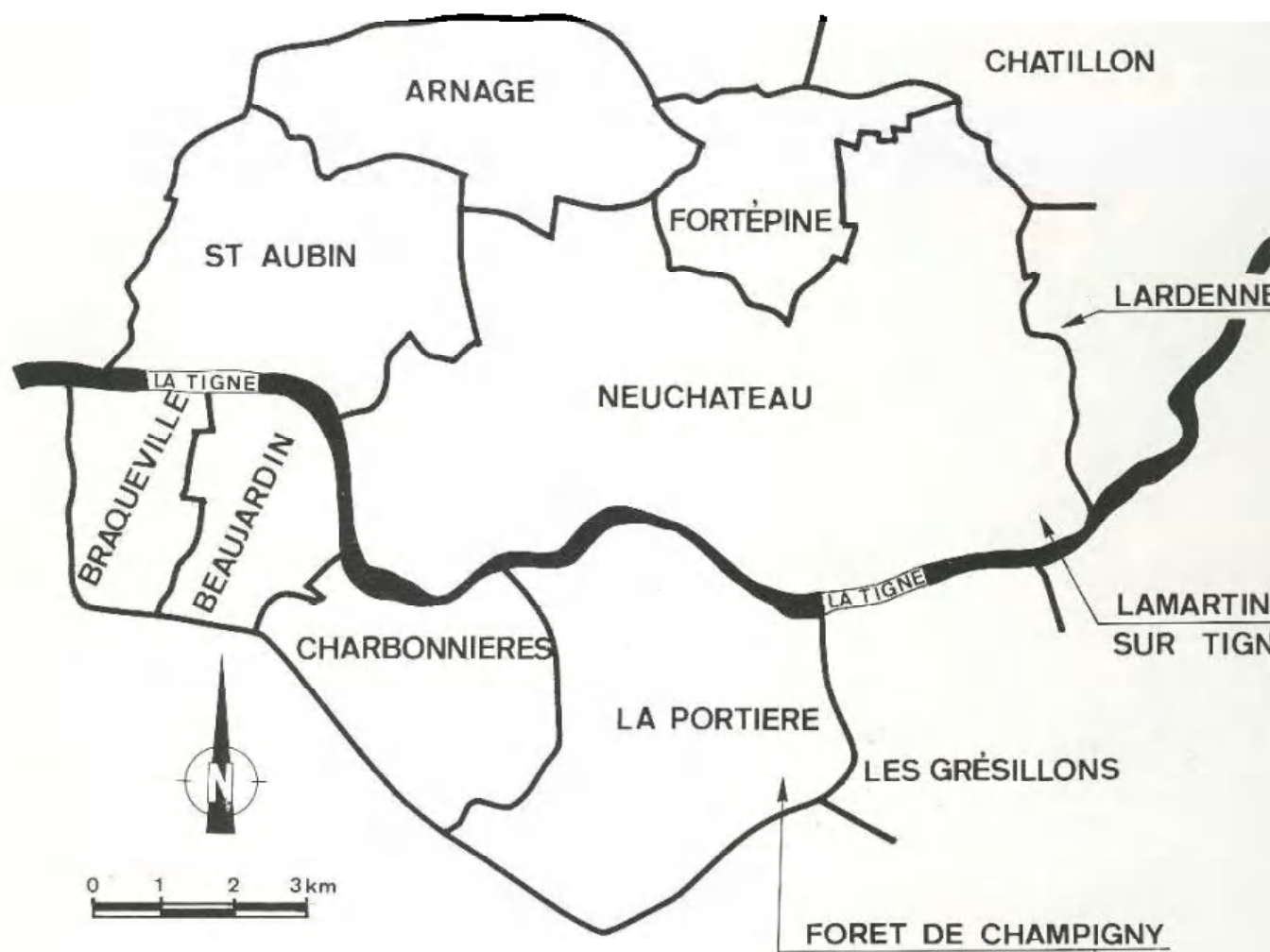
Ce sont les villes intermédiaires, les métropoles régionales de plus de 200.000 habitants pour lesquelles l'avenir du système des déplacements et particulièrement celui du transport public, semble le plus incertain. Les solutions actuelles sont largement dépassées et il n'existe pas réellement de solution de rechange.

C'est donc sur ce type de ville que doit porter une réflexion globale sur l'urbanisme dans ses relations avec le système de transport et une recherche sur les moyens à mettre en oeuvre pour que le transport public puisse y remplir un rôle ce rôle que lui assignent, pour les décennies à venir, les sociologues, les urbanistes, et aussi, selon l'I.F.O.P., 78 % des citoyens, c'est à dire les intéressés eux-mêmes.



NEUCHATEAU HISTORIQUE (1900)

Fig.12.1



NEUCHATEAU ET SA REGION
DECOUPAGE DES COMMUNES
Fig.12.2

1.2.1. - LA VILLE DE NEUCHATEAU.

L'étude d'un système de transport urbain passe par une analyse explicative de la fonction transport et de ses relations avec les autres fonctions et contraintes de la vie urbaine et avec le développement urbain. Pour tenter cette analyse, il est nécessaire de partir d'un cas concret représentatif du cas général. Chaque ville a sa spécificité mais, dans un pays donné, il y a suffisamment de traits communs entre les villes d'importance comparable pour que cette démarche ne soit pas dépourvue d'intérêt.

La ville témoin étudiée ici, que nous appellerons NEUCHATEAU, est située sur la rivière TIGNE à 40 km de la mer. La ville a une population de 200.000 habitants ; elle est le centre d'une agglomération qui s'étend sur un rayon de 100 km et dont la population en 1973 est de 510.000 habitants.

1.2.1.1. - Evolution historique de Neuchateau.

L'origine de la ville date de la période romaine, avec la construction des fortifications pour protéger la traversée de la Tigne, mais la ville s'est développée dans la seconde moitié du XIX^e siècle. Avec l'arrivée du chemin de fer les quartiers industriels et ouvriers et les installations portuaires se sont étendus. Autour du noyau historique, se sont groupées les activités commerciales et les zones résidentielles. En 1900, la ville atteignait déjà une population de 150.000 habitants et la physionomie actuelle du centre et du secteur à l'Ouest du centre était déjà dessinée (cf. fig. 12.1)

Dans la première moitié du XX^e siècle, le développement de la ville a été plus lent, surtout marqué par la construction d'immeubles collectifs près du centre et de cités ouvrières en pavillons standardisés vers Fortépine au Nord.

Après la seconde guerre mondiale, au cours de laquelle les zones industrielles furent en partie détruites par les bombardements, la ville s'est développée considérablement, surtout à partir des années soixante. Tandis que l'industrie lourde connaissait une expansion modérée, les installations portuaires et les activités tertiaires se développaient à un rythme élevé. Les bureaux et administrations se concentraient dans le centre de la ville.

1.2.1.2. - Description de la ville actuelle.

L'agglomération de Neuchateau comprend 8 communes (cf. fig. 12.2) dont les plus importantes sont celles de Neuchateau et la Portière. L'agglomération a une superficie de 140 km² dont environ 100 km² sont des zones bâties (cf. fig. 12.3). Le coeur de l'agglomération est constitué de deux centres jumeaux - ceux de la Portière et Neuchateau - situés de part et d'autre de

la Tigne. Les installations industrielles sont réparties le long de la Tigne sur les deux rives, à l'exception de la nouvelle grande zone industrielle de la Portière au Sud de la ville, le long de la ligne de chemin de fer. Environ les deux tiers des zones d'habitat se trouvent au Nord de la Tigne avec les zones les plus denses et les plus anciennes, dans le centre ville et au bord de la Tigne.

1.2.1.3. - La région urbaine et sa planification.

Neuchateau se situe dans une région très urbanisée (cf. fig. 12.4). Sur la côte, à 40 km de Neuchateau, sont implantées les villes portuaires de Port Duroques, la Finurette, Duroques, et les deux stations balnéaires de Neuville-lès-Roques et Roques sur mer. Ces villes ont au total 75.000 habitants et leurs activités sont très fortement liées à celles de Neuchateau. C'est pourquoi, en 1967, l'OREAM (1) fût créé pour étudier les problèmes de cette région urbaine et pour proposer un aménagement régional dans lequel les villes puissent se développer en harmonie avec une politique d'ensemble. Le livre blanc de l'OREAM (publié en 1969) a prévu une forte expansion de Neuchateau, et proposé la création d'une "ceinture verte" entre Neuchateau et les villes de la côte avec un développement important des infrastructures routières reliant les villes de la région entre elles et au reste du pays. On peut citer les projets suivants comme les plus importants (cf. fig. 12.5) :

- . autoroutes A 17 et A 127 (construites depuis),
- . création d'une desserte cadencée de transport collectif rapide reliant Roques sur Mer - Duroques et Neuchateau, (en cours de réalisation),
- . aéroport régional entre Duroques et Neuchateau (en voie de construction),
- . deux "villes nouvelles" au Sud de Neuchateau, (dont une en voie de construction - "ville Ouest"),
- . expansion des villes satellites : St. Martin (au Nord), Pontlieu-l'évêque (à l'Est) et Neuville St. Cyr (au Sud),
- . développement du rôle touristique de la côte avec connurbation linéaire des villes de Neuville-les-Roques et Roques sur Mer (achevé depuis).

1.2.2. - LE SCHEMA DIRECTEUR D'AMENAGEMENT ET D'URBANISME (SDAU) DE NEUCHATEAU

En 1969 fut créée l'Agence d'Urbanisme de la ville de Neuchateau pour préparer le SDAU de l'agglomération.

En 1970, elle publia le livre blanc, et en 1972 le SDAU fut approuvé. Le SDAU de Neuchateau se situe bien dans l'optique régionale de l'OREAM. *Il prévoit le développement de l'agglomération jusqu'à l'année 2000, date à laquelle la population doit atteindre 880.000 habitants.* Le SDAU est un document essentiel pour la présente étude ; il est analysé en détail dans les paragraphes suivants (cf. fig. 12.6).

(1) Organisation Régionale des Etudes des Aires Métropolitaines.

1.2.2.1. - Les propositions générales du SDAU de Neuchateau.

Les options essentielles du SDAU concernent à la fois l'expansion de l'agglomération et la circulation.

Malgré les réalisations autoroutières à l'extérieur de la ville et la construction de la pénétrante Nord A 17 bis (en 1972) entre l'A 127 et le centre ville, Neuchateau connaît actuellement de graves problèmes de congestion routière. Les axes les plus encombrés sont ceux qui desservent le centre, la nouvelle zone industrielle et les ponts qui traversent la Tigne. La figure 12.7, tirée du livre blanc, met en relief les vitesses de circulation à la pointe du soir et les zones de congestion du réseau routier de Neuchateau.

Le SDAU attaque ces problèmes sur deux fronts. Non seulement, il prévoit le développement de la nouvelle "Ville-Ouest", *mais toutes les zones d'expansion sont conçues comme des "mini-villes" avec leurs propres centres commerciaux, industriels, et de bureaux - pour diminuer l'attractivité du centre ville actuel et réduire les déplacements quotidiens à destination de ce centre.* D'autre part, *il prévoit un réseau routier très riche et fortement maillé pour éviter la concentration des déplacements :* voies primaires de haute capacité (voies express et autoroutes urbaines), nouveaux ponts bâtis sur la Tigne, rocade autoroutière autour du centre ville avec construction de grands parkings en périphérie et réservation du centre commercial aux piétons.

Cette politique n'est pas uniquement la traduction d'idées théoriques, mais s'appuie sur les résultats fournis par des modèles de prévision de trafic ajustés sur les données collectées au cours d'enquêtes, réalisées en 1970. Ces enquêtes concernaient notamment la fréquence, la nature et le mode de déplacements des habitants de Neuchateau (enquête "ménages" en février 1970). Le comportement des citadins en matière de fréquence des déplacements et de choix modal a été analysé et explicité par des modèles linéaires où interviennent comme paramètres explicatifs le taux de motorisation, le motif du déplacement, et les caractéristiques du trajet (temps, dépenses de transport...). Ce comportement a été extrapolé à l'horizon 2000, dans les modèles de prévision de trafic établis sur les 4 ans, en fonction des perspectives de développement de l'urbanisation de Neuchateau.

Plusieurs variantes de réseau routier liées à des politiques d'urbanisation différentes ont été étudiées et comparées. La charge des réseaux a été calculée pour chacune de ces variantes après exploitation de la chaîne de programme de génération, distribution et affectation modale.

Dans toutes ces variantes, comme dans le schéma directeur proposé, le système de transport est essentiellement routier, le réseau de transport public, qui ne joue qu'un rôle d'appoint, n'était décrit que très sommairement, et ne faisait pas l'objet de prévisions de trafic détaillées.

C'est une variante où l'on réserve la possibilité de construire un transport en commun en site propre (TCSP) entre la ville nouvelle de Ville Ouest et le centre, que nous avons plus particulièrement étudiée.

Cette variante est désignée par hypothèse A dans toute la suite de l'étude.

1.2.2.1.1. - Les hypothèses d'urbanisme.



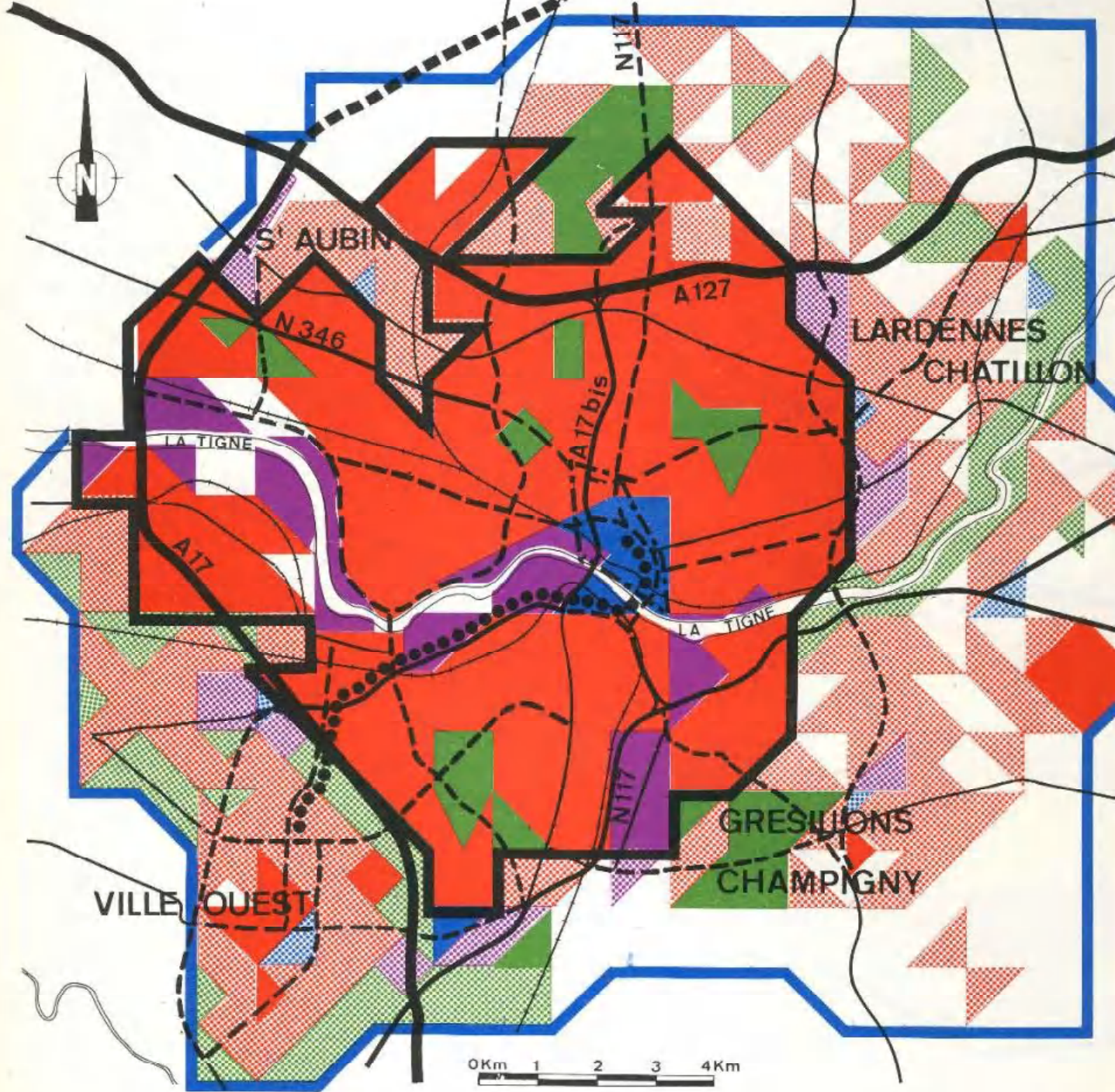
REGION DE NEUCHATEAU

Fig. 12.4



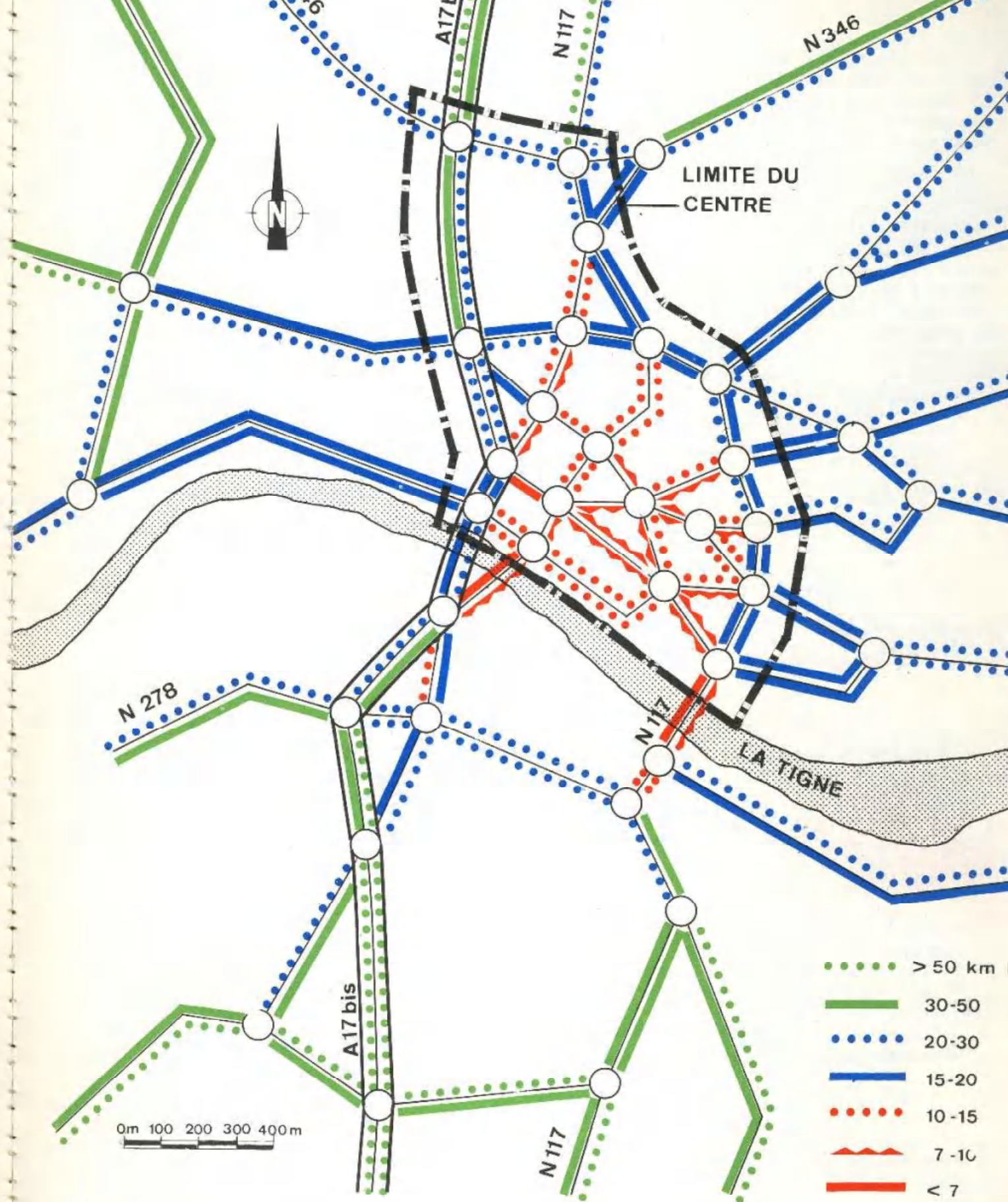
PROJET D'AMENAGEMENT DE L'OREAM NEUCHATEAU DUROQUES 1969

Fig.12.5



SDAU 2000

Fig. 12.6



NEUCHATEAU 1972
VITESSE DE CIRCULATION A LA POINTE DU SOIR

Fig. 12-7

La projection démographique présentée dans le SDAU envisage une population de 880.000 habitants pour la zone urbaine de Neuchateau en l'an 2000, horizon du SDAU. Pendant les 10 dernières années, l'agglomération s'est développée rapidement, avec un accroissement de population de 2,3% par an. On prévoit que ce taux quelque peu exceptionnel, connu par d'autres grandes villes françaises, s'abaisse à 1,9% par an, s'alignant sur la tendance nationale.

Pour faire face à cette augmentation de population des 27 années à venir, l'agence d'urbanisme a proposé l'élargissement des limites administratives de la ville à des fins de planification. L'aire du SDAU couvre donc 250 km², soit 110 km² de plus que la superficie actuelle de l'agglomération (140 km²). Cette "enveloppe d'expansion" s'accorde bien avec la stratégie régionale de l'OREAM en ce sens que les zones supplémentaires affectées à l'urbanisation se situent essentiellement à l'Est de la ville actuelle, à l'exception de la zone affectée à la ville nouvelle "Ville-Ouest" qui se trouve au Sud Ouest de l'agglomération près des communes de Charbonnières et de Beaujardin, préservant ainsi l'essentiel de la "ceinture verte" à l'ouest de l'agglomération entre Neuchateau et la côte.

Le SDAU présente essentiellement quatre secteurs principaux d'urbanisation à l'intérieur de l'enveloppe d'expansion (cF. fig. 12.6) :

. a - Ville-Ouest :

une ville entièrement nouvelle d'une densité moyenne à forte ayant son autonomie avec un centre ville, un centre administratif, des industries, des bureaux et des centres d'activités culturelles ; *la ville aura une population d'environ 100.000 habitants, une fois terminée dans les années 1990.*

. b - St. Aubin :

bien qu'officiellement non conçue pour être une ville nouvelle, la zone d'expansion de St. Aubin est prévue pour accueillir quelque 30.000 personnes et comprend un centre commercial important qui desservira la partie Nord-Ouest de la ville. La croissance de St. Aubin est étroitement liée au développement de la nouvelle zone industrielle qui dispose, à l'Est de l'autoroute A 17, de cent hectares de terrains pour les industries légères.

. c - Les Grésillons-Champigny :

une aire urbaine de 100.000 habitants devrait s'étendre, en 2000, depuis le village actuel des Grésillons, noyau de l'expansion future, jusqu'aux limites de la forêt de Champigny. Ce secteur d'urbanisation serait relativement dispersé, et les densités plus faibles que celles de la Ville Ouest et de St. Aubin, mais un centre commercial et d'activités tertiaires important devrait cependant s'établir près de la forêt de Champigny. A l'Ouest de ce secteur, et jusqu'à la RN 117, est également programmée la création d'une zone industrielle très importante.

. d - Lardennes-Chatillon :

le triangle cerné par Lardennes, Chatillon et la Garenne est actuellement l'un des secteurs les plus pittoresques des environs de Neuchateau. Cette région, boisée et légèrement vallonnée, est bordée par la Tigne qui n'est pas encore trop polluée à cet endroit. Le SDAU propose de protéger le site et de préserver cette zone, qui n'abriterait pas plus de 52.000 habitants

à terme, avec des densités très faibles. Un centre commercial est en projet au Nord de Lardennes, il attirera la clientèle de la zone d'expansion et de la partie Est de la ville actuelle.

Les hypothèses de répartition de la population à long terme présentées ci-dessus illustrent bien le souci majeur du SDAU en matière de politique d'urbanisation : "organiser la maîtrise des sols et réserver des espaces suffisants pour loger les familles dans l'avenir, de façon qu'elles puissent bénéficier d'une grande variété de choix dans l'habitat et dans le type de communautés urbaines auxquelles elles pourraient souhaiter s'intégrer (1).

1.2.2.1.2. La politique de transport - le poids de la zone centrale.

Dans ce paragraphe sont examinés l'intégration des secteurs d'expansion à l'aire urbaine existante et la conception prévalant dans le SDAU pour le système de transport reliant les nouveaux quartiers entre eux et à la ville actuelle.

A maints égards, le choix des quatre zones d'expansion principales a été dicté par les contraintes de transport. Cela n'est pas explicitement énoncé dans les documents constitutifs du SDAU qui résument comme suit les objectifs de transport : "donner aux citoyens les moyens de se déplacer sans qu'ils aient à subir les encombrements que connaissent actuellement plusieurs quartiers de la ville" et, plus particulièrement, "créer suffisamment de parkings dans le centre ville et au voisinage immédiat des nouveaux centres commerciaux afin qu'ils puissent pleinement assumer le rôle d'animation qui les caractérise". (2)

Bien entendu, le souci majeur de la politique de transport du SDAU est de soulager la pression exercée sur le centre, à l'aide d'une meilleure répartition des déplacements sur l'étendue de l'agglomération. Actuellement, le centre ville ne contient que 13% de la population, mais il regroupe 31% des emplois, et près de 60% des emplois tertiaires. Le SDAU s'efforce de contre-carrer la concentration des emplois dans le centre : en l'an 2000, le poids du centre (32%) dans le total des emplois serait équivalent à ce qu'il est aujourd'hui, mais la part des emplois tertiaires devrait être ramenée à 49% du total des emplois de cette catégorie, par application d'une politique de décentralisation du secteur tertiaire vers les centres commerciaux des nouvelles aires d'expansion. La population dans le centre, actuellement de 66.000 habitants, devrait baisser de 40% environ, suivant la tendance constatée dans toutes les villes du monde développé.

Cependant, malgré ce ralentissement imposé à la croissance des emplois dans le centre, la nécessité d'assurer les déplacements des habitants de Neuchateau dont la plupart, selon le SDAU, devraient s'effectuer en voiture, entraîne la réalisation en vingt cinq ans de très importantes infrastructures routières, et surtout de grands efforts dans la construction de parkings. En effet, le poids de l'hypercentre va presque doubler pendant la période du SDAU, le total des emplois y passant de 24.000 en 1973 à 42.000 en 2000. De plus, en

(1) Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de Neuchateau, chapitre 1 page 6. Agence d'urbanisme de la ville de Neuchateau 1973.

(2) SDAU de NEUCHATEAU
chapitre 4, page 53 (Agence d'urbanisme) 1973.

1973, environ 39.000 déplacements sont à l'heure de pointe du soir liés au centre, et 14.600 à l'hypercentre, dont respectivement 29.300 et 10.900 sont réalisés à l'aide d'un véhicule particulier. La demande de stationnement la plus forte s'élève à 35.200 places pour le centre, dont 13.200 pour l'hypercentre, alors que 39.000 places ont été recensées dans ce secteur, (en comptant les places illicites) dont seulement 8.600 places dans l'hypercentre. Ainsi, il existe déjà actuellement un déficit important en places de stationnement dans l'hypercentre (d'environ 5000 places). C'est pourtant pour les liaisons centre-périphérie que le pourcentage des déplacements assuré par les transports collectifs est le plus élevé : 25% du trafic est acheminé par les autobus en heure de pointe du soir.

Dans le centre, l'offre de stationnement excède la demande d'environ 4000 places, mais en pratique cette situation correspond à la saturation, compte tenu d'un taux d'occupation de 90%.

Pour ce qui est de la voirie qui dessert le centre, la capacité totale offerte est de 25.000 U.V.P., même en incluant la nouvelle autoroute urbaine A 17 bis, alors que le débit total à la pointe du soir est de 22.500 U.V.P. (90% de la capacité offerte) pour un jour moyen, ce qui explique les nombreux embouteillages constatés aujourd'hui.

Le SDAU souligne que l'état du trafic dans la zone centrale est proche de la saturation et qu'il en résultera de grandes difficultés pour faire face aux flux de trafic accrus, conséquence de la croissance du centre, de l'hypercentre et de la ville dans son ensemble et, d'une manière plus générale, de l'accroissement du taux de motorisation et de l'utilisation de la voiture particulière qui vont vraisemblablement, selon le SDAU, considérablement augmenter dans les deux prochaines décennies.

A l'horizon 2000, dans l'hypothèse A, les 66.000 déplacements engendrés par le centre à l'heure de pointe du soir nécessiteront la construction pendant la période du SDAU de nombreuses nouvelles voies de circulation de type autoroutes ou express, bien que 30% de ces déplacements soient à cette date assurés, selon le SDAU, par les transports collectifs. Le SDAU prévoit également la création de 19.000 places de stationnement, la plupart dans des parkings.

1.2.2.2. - L'aménagement du centre ville

La mise en place de ces infrastructures nécessitera, bien sûr, le réaménagement de plusieurs secteurs du centre et de l'hypercentre. C'est pourquoi, le SDAU contient des schémas de détail sur l'aménagement futur du centre.

La figure 12.18 (planche tirée directement du SDAU) indique les propositions d'aménagement du centre. Leur importance mérite que nous les mentionnions ci-dessous :

1.2.2.2.1. - En matière de transports :

Le SDAU prévoit la construction d'une nouvelle autoroute urbaine reliant la RN 346 au Nord du centre à la RN 278 à la Portière, sur la rive gauche de la Tigne. Cette autoroute suit le tracé de la RN 117 au Nord entre l'université (qui devrait accueillir 30.000 étudiants en l'an 2000, contre la moitié actuellement) et la nouvelle cité administrative, puis se dirige au Sud

passant à l'Est du centre au travers d'un tissu ancien, une zone d'habitat dense, avant de rejoindre la Tigne qu'elle traverse sur un nouveau pont bâti à l'Est de l'actuel pont de chemin de fer. Cet axe Nord-Sud est relié à la RN 346 par un nouvel échangeur, tandis que la RN 346, déviée au Nord des zones d'extension de l'université, est aménagée en autoroute urbaine Est-Ouest.

Au coeur du centre et au Sud-Est de la cité administrative, une nouvelle voie express est-ouest est réalisée en tunnel, depuis la nouvelle autoroute urbaine jusqu'à l'actuelle A 17 bis. Elle se prolonge ensuite à l'Ouest du centre jusqu'à la route de St. Aubin.

A l'Est, l'accès au centre est assuré par une voie express réalisée en trouée dans le tissu urbain jusqu'à la D 19 (voir également fig. 12.9)

1.2.2.2.2. - En matière d'urbanisme :

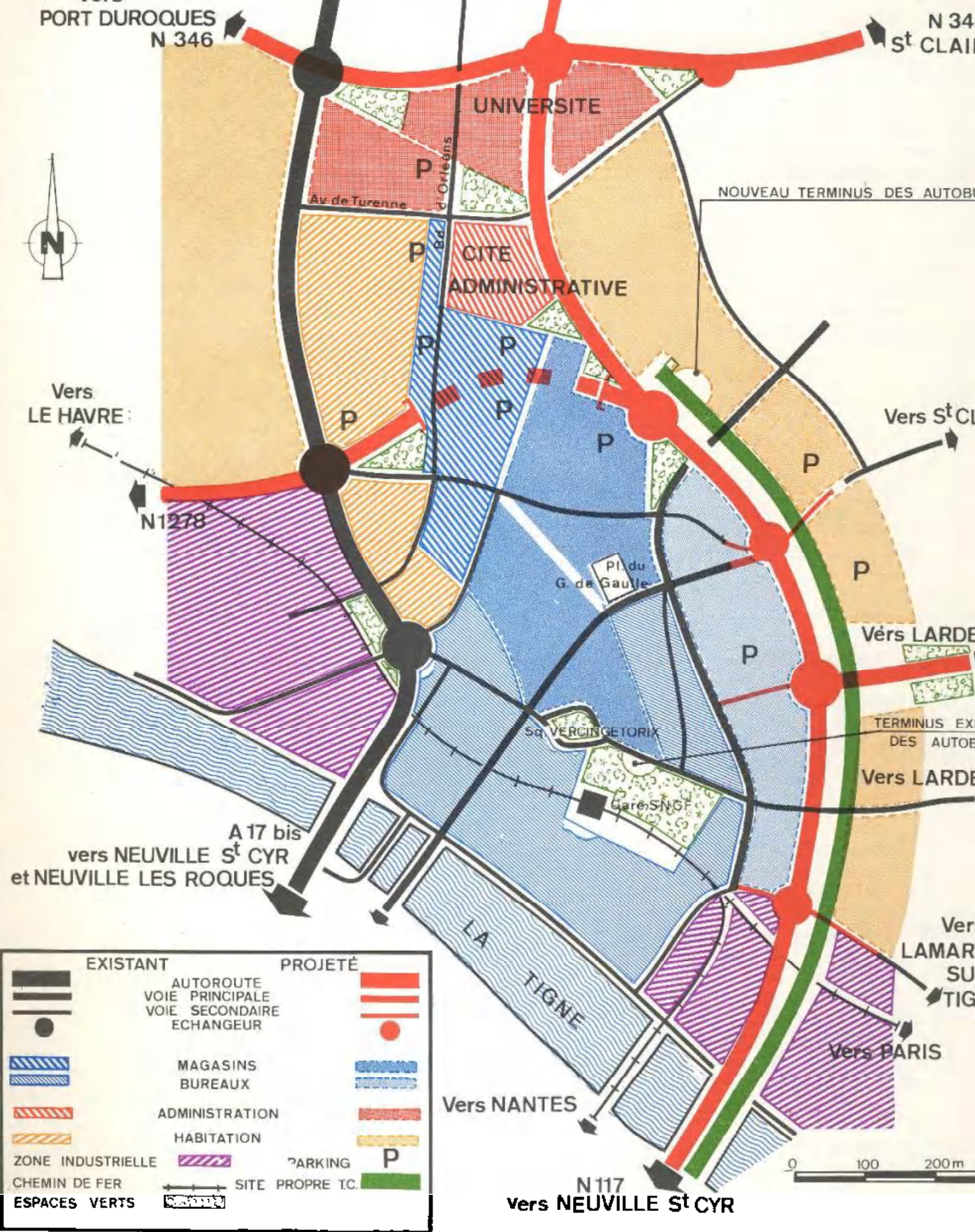
La fonction des autoroutes urbaines proposées pour le centre est de soulager la voirie existante des grands flux de circulation et par suite de permettre la rénovation des quartiers du centre commercial et d'affaires et la réservation de certaines voies à l'usage exclusif des piétons. L'emprise au sol libérée par ces opérations autoriserait la création de grandes surfaces de parkings, en élévation ou en sous-sol, desservant à la fois les autoroutes urbaines et le coeur de la ville.

Le principal centre commercial, situé sur l'axe du boulevard d'Orléans, s'étendra à l'Est et à l'Ouest de part et d'autre du tunnel ainsi qu'au Sud-Est, autour de la place Charles de Gaulle. Actuellement, le centre d'affaires se trouve au Sud de l'hypercentre, à l'Est et au Sud du square Vercingétorix (utilisé comme parking) : son centre de gravité se déplacera vers le Nord-Est, à l'intérieur du secteur de rénovation de l'autoroute de l'Est. Enfin, un nouveau complexe administratif est actuellement en cours de construction au sud de l'avenue de Turenne et il est envisagé de compléter cette opération par les extensions de l'université au Nord du centre.

De manière générale, la politique d'expansion du centre est étroitement liée au développement des autoroutes urbaines et des aires de stationnement, et il semblerait que le choix des secteurs retenus pour l'extension du centre d'affaires s'opère indépendamment des tendances de croissance observées actuellement (à proximité de la gare). Dans le SDAU, la stratégie recommandée est ainsi résumée :

"Pendant des années, le poumon de la ville, son centre commercial et financier, a souffert d'un surpeuplement et d'une lente asphyxie par manque d'espace. Le SDAU reconnaît qu'il est vital pour Neuchâteau et son avenir d'assainir le tissu urbain dans le centre et de favoriser pleinement son expansion. Le développement cohérent et équilibré d'un nouveau complexe commercial et financier à l'Est de la zone centrale permettra à Neuchâteau d'exprimer du mieux qu'il soit son dynamisme et sa puissance commerciale, l'organisation d'une excellente desserte autoroutière lui assurant par ailleurs un très haut niveau d'accessibilité aux grands axes régionaux d'échange. Assurée de ses moyens, la métropole régionale pourrait ainsi constituer l'un des maillons essentiels d'une chaîne de décentralisation forgée à l'échelon national, et devenir un pion sur l'échiquier européen (1)".

(1) Chapitre 10 pp 120.121 "Vers l'avenir", SDAU de Neuchâteau.



CENTRE VILLE: PROPOSITIONS DU SDAU
Fig 12.8

1.2.2.3. - L'aménagement de la périphérie - Les nouvelles urbanisations
(fig. 12.9)

Hors du centre, les directives essentielles du SDAU se rapportent au réseau de voirie. Les prolongements les plus importants du réseau actuel concernent le développement des quatre aires d'expansion, ainsi que les autoroutes régionales.

1.2.2.3.1. - Les autoroutes régionales.

Le prolongement de l'autoroute A 17 au Nord de la ville nécessitera l'aménagement en voie express de la RN 117 entre l'autoroute A 17 au Nord et la RN 346 à la limite du centre. En outre, la RN 117 est reliée à l'échangeur A 127/ A 17 bis au Nord-Ouest de Fortépine.

1.2.2.3.2. - Les aires d'expansion.

. a - la ville nouvelle de "Villa-Ouest".

A l'Ouest et au Sud de la ville nouvelle, les liaisons avec l'autoroute A 17 sont assurées par la création d'une nouvelle rocade à l'Ouest et par le prolongement en voie express de la RN 117. L'aménagement de la D 50 et la création de deux voies express Nord-Sud complètent la desserte routière de la Ville nouvelle en voies importantes.

. b - St. Aubin.

St. Aubin est déjà reliée à Neuchateau et à l'autoroute A 17 par la P 28 et la RN 346. La transformation de la D 28 à l'Est de la zone d'expansion (dans le cadre de l'opération destinée à doter Neuchateau d'un aéroport moderne) donnera à St. Aubin un bon accès routier aussi bien au nouvel aéroport régional qu'à la ville et en particulier à sa partie Sud, la traversée de la Tigne étant facilitée par la remise en état du pont.

. c - Les Grésillons-Champigny.

La croissance des Grésillons-Champigny nécessitera une refonte complète de l'accès routier : un faisceau de trois voies express est programmé. Les deux principales ont une orientation nord-sud pour l'une, suivant le tracé de la D 19, et est-ouest pour l'autre en prolongement de la D 14. La dernière emprunte une direction sud-ouest, nord-est entre la D 14 et la RN 278.

. d - Lardennes-Chatillon.

Cette zone est déjà bien pourvue d'accès routiers menant à la ville avec les départementales 19 et 14 et la RN 346. Le développement du centre commercial de Lardennes nécessitera la mise en voie express de la D 44 depuis la limite de la commune à l'Est jusqu'à la RN 346, et surtout de la RN 346 jusqu'au centre de la ville de Neuchateau.

Sur l'aire du SDAU, les prévisions de mise en chantier ou d'aménagement de nouvelles voies portent sur un total de 118 km, dont 16 km dans le centre dense de Neuchateau.

1.2.2.4. - Les transports en commun.

1.2.2.4.1. - Analyse de la situation actuelle.

Actuellement, les transports en commun de l'agglomération de Neuchâteau sont assurés par les autobus de la compagnie des "cars Tigne" qui, par contrat avec la municipalité, dispose d'un monopole d'exploitation sur l'étendue de l'aire urbaine. Le réseau d'autobus existant comporte vingt lignes qui représentent une longueur totale de 176 km. En 1973, le parc d'autobus était de 300 véhicules de 70 places, et le trafic annuel de 51,5 millions de voyages.

Ce trafic annuel n'a que peu évolué depuis 1960 où il atteignait déjà 52 millions de voyages pour une population de 400.000 habitants. La part des déplacements assurés par les transports publics a décru régulièrement pendant cette période : le nombre de déplacements effectués en autobus par personne et par an passant de 120 en 1960 à 84 en 1973.

Dans le même temps la situation financière de la compagnie des "cars Tigne" n'a cessé de se détériorer, et le déficit d'exploitation apparu dès 1967 a régulièrement augmenté depuis.

Cette situation est due en partie à la dégradation régulière du niveau de service offert aux usagers : baisse de la vitesse commerciale (14 km/h en 1960 contre 11 km/h seulement en 1973 pendant la pointe de trafic) et irrégularité croissante de passage des autobus, notamment. De plus, pendant cette période les services de nuit et du dimanche ont été supprimés et les fréquences de desserte en heures creuses sensiblement diminuées. D'autre part, les liaisons en rocade devenues nécessaires du fait du développement de la ville ont été négligées.

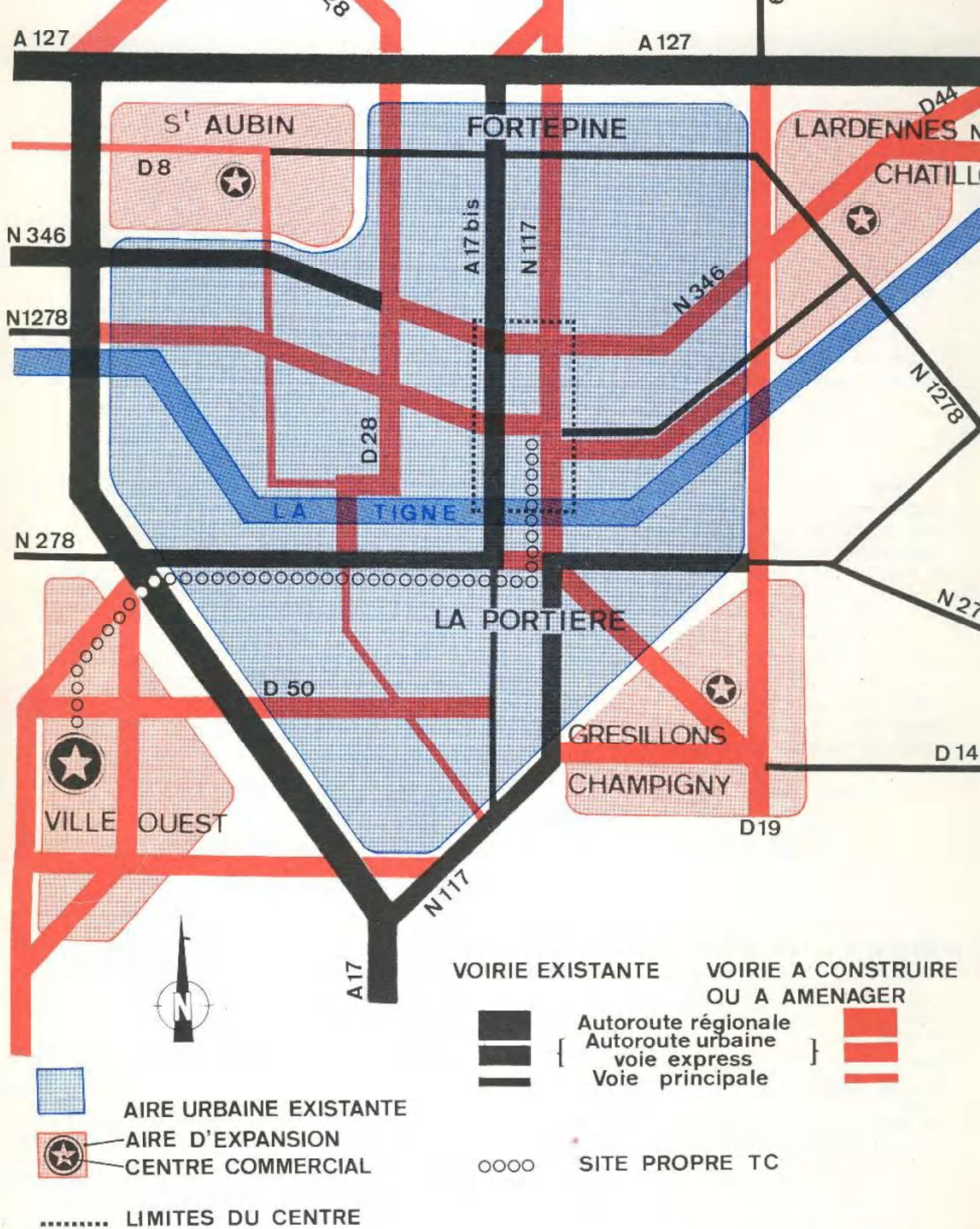
La situation actuelle des transports publics, comparée à celle d'autres villes françaises, n'est cependant pas mauvaise. L'ensemble de l'agglomération est à peu près couvert par un réseau relativement dense desservant convenablement le centre de la ville. Les fréquences de passage en période de pointe sont assez élevées (intervalle théorique de l'ordre de 6 minutes sur 8 lignes). Les autobus assurent 25% des déplacements issus du centre à la pointe du soir.

Enfin, des mesures de réservation de voies pour les autobus ont pu être mises en application en 1972 facilitant le franchissement de la Tigne et l'accès au terminus situé près de la gare SNCF. D'autre part, depuis cette année, 4 lignes du réseau empruntent l'autoroute A 17 sur une partie de leur itinéraire.

1.2.2.4.2. - Les améliorations envisagées.

Pour l'avenir, diverses améliorations sont proposées par le SDAU, qui s'est fixé comme objectif général de "développer au maximum un réseau d'autobus fiable destiné à la fois aux ménages captifs des transports collectifs et à ceux qui, pour une raison ou pour une autre, préféreraient ne pas utiliser leur véhicule particulier comme mode de transport principal" (1). Plus précisément, le SDAU veut "encourager l'utilisation des autobus pour les déplacements domicile-travail, et, en augmentant l'efficacité de l'espace urbain réservé aux transports, soulager le centre de la pression exercée à l'heure de pointe du soir par les véhicules en déplacement et réduire la demande de places de stationnement dans la zone centrale" (1).

(1) Chapitre 9 p. 87-88 "La promotion des transports collectifs" SDAU de Neuchâteau.



SCHEMATISATION DU SDAU

Fig. 12.9

Le SDAU envisage :

- la création d'un important terminus d'autobus au Nord-Est de la place Charles de Gaulle, et la rénovation du terminus actuel, près de la gare SNCF,
- la mise en oeuvre de mesures de priorité pour les autobus, comme par exemple la création de couloirs réservés le long des artères saturées et sur certaines voies express,
- la réorganisation de la compagnie d'autobus en vue d'améliorer sa productivité et l'étude de nouvelles politiques tarifaires mieux adaptées à l'évolution du réseau (500 autobus en 2000),
- la mise en service de lignes nouvelles, principalement en rocade et pour desservir les nouvelles urbanisations, et le renforcement du parc d'autobus.

Le réseau proposé par le SDAU a une longueur totale de 250 km.

Rappelons que, sur le plan régional, les liaisons SNCF entre Neuchateau et ses voisines, Le Havre, Nantes et Paris seront renforcées et modernisées tant pour favoriser le déplacement des personnes que pour augmenter le volume des marchandises acheminées par fer. Par contre, il n'est pas prévu de promouvoir un véritable réseau ferré de banlieue. La SNCF s'y oppose pour des raisons de rentabilité, d'autant que la pointe du trafic banlieue correspondrait à la pointe du trafic grande ligne.

Cependant, une desserte cadencée de transport collectif rapide reliant Roques sur Mer, Duroques et Neuchateau est en cours de réalisation, et la desserte de "Ville-Ouest" sera assurée par une ligne de transports en commun en site propre, TCSP, reliant le centre commercial et administratif de la ville nouvelle au centre de Neuchateau. *La réalisation de cette ligne avec un "système nouveau de transport en site propre", est prévue pour 1985 en liaison avec la construction des infrastructures routières desservant "Ville-Ouest".*

1.2.2.5. - Programmation des réalisations du SDAU.

1.2.2.5.1. - La première phase : 1973 - 1985.

Les phases de développement prévues dans le SDAU sont schématisées à la figure 12.10. La première phase de réalisations couvre la période 1973 - 1985 et comprend simultanément :

- le développement de Ville-Ouest à près de 75% de sa taille de l'an 2000, et la création d'équipements collectifs et du centre commercial pour 75000 personnes ; en parallèle, la construction du prolongement de la RN 117, de la rocade Ouest rejoignant l'autoroute A 17, de la voie express Nord-Sud entre le nouveau prolongement de la RN 117 et la RN 278, l'aménagement de la D 50, et la mise en service de la ligne de T.C.S.P.,
- le développement des Grésillons-Champigny à 30% de sa capacité totale (100.000 personnes) et la construction sur le tracé de la D 14 entre la D 19 et la RN 117 d'une voie express Est-Ouest reliant les Grésillons à la zone industrielle de la Portière ; la réalisation partielle de la nouvelle voie express Nord-Sud sur le tracé de la D 19 au Sud des Grésillons-Champigny et jusqu'à la D 14, et la voie rapide Sud-Est Nord-Ouest entre le centre des Grésillons et le carrefour N 117-N 278.

- le développement de l'aire d'expansion Lardennes-Chatillon à plus du quart de sa capacité et la transformation partielle de la RN 346 en autoroute, afin de relier Lardennes à la zone centrale ; l'aménagement partiel de la D 19 en voie express entre la RN 346 et la RN 278, et entre la RN 346 et l'autoroute A 127,
- le développement de St. Aubin jusqu'à 25% de sa capacité prévue, et la création d'un maillon routier Nord-Sud à l'Est de St. Aubin entre la D 8 et la RN 278 avec traversée de la Tigne sur un nouveau pont.
- la construction du périphérique Est de la zone centrale depuis la RN 346 (au Nord) jusqu'à la Portière (et sur une partie du tracé de la RN 278) et la création d'un nouveau pont autoroutier sur la Tigne.
- la jonction de l'autoroute A 17, au Nord, à l'autoroute A 127 et la desserte en voie express de l'aéroport par la D 28 au delà de l'autoroute A 17.

Au total, la première phase du SDAU programme la construction de 60 km d'autoroutes ou de voies express entre 1973 et 1985, tandis que, globalement, la population de l'aire urbaine s'accroît de 150.000 habitants.

1.2.2.5.2. - La deuxième phase : 1985 - 2000.

La deuxième phase de développement couvre la période 1985 - 2000 et achève le SDAU ; 58 km d'autoroutes et de voies express nouvelles serviront une population accrue de 220.000 habitants pendant cette période.

1.2.3. - ANALYSE CRITIQUE DU SDAU.

1.2.3.1. - Les idées directrices du SDAU.

Le principe directeur du SDAU est la décentralisation des activités et la création de villes nouvelles relativement autonomes, dotées d'équipements commerciaux, administratifs et culturels. L'organisation des déplacements repose sur un réseau puissant d'autoroutes urbaines.

Cette politique, dans le cadre de laquelle s'inscrivent toutes les hypothèses d'urbanisme du SDAU (dont une seule a été évoquée) s'appuie sur deux idées forces :

- *la croissance de la population de Neuchateau et des besoins de déplacements de ses habitants est inévitable, le noyau urbain central étant déjà très dense, peu accessible et saturé, il faut lutter contre la tendance actuelle à la concentration des activités dans le centre, protéger celui-ci et favoriser le plus possible le développement de nouveaux pôles d'attraction à la périphérie.*
- *"la rapidité, le confort et la souplesse de la voiture particulière en font, pour longtemps encore, le moyen de transport le plus utilisé dans*

*les agglomérations de taille modérée ; une voie rapide bien intégrée en site urbain est coûteuse, mais les services que peut en attendre la collectivité justifient les investissements correspondants ; c'est pourquoi il faut éviter de se donner a priori des contraintes de financement excessivement malthusiennes** .

La conjonction de ces deux idées conduit à n'étudier les systèmes de transports collectifs que comme des moyens de transport d'appoint, utilisés à l'heure de pointe et pour le transport des captifs, et à n'envisager qu'un seul type de développement et d'organisation urbains.

Néanmoins, pour "réserver l'avenir", un transport en commun en site propre est prévu reliant Ville-Ouest au centre principal.

1.2.3.2. - Remarques sur la politique de développement urbain.

La décentralisation des activités et le développement des villes satellites sont parfaitement envisageables dans leur principe comme méthode d'organisation de la croissance urbaine, quelle que soit la politique préconisée en matière de transport, que l'on veuille favoriser les transports en commun ou continuer à privilégier les moyens de transports individuels.

Deux remarques peuvent cependant être faites à ce propos. D'une part, la création de nouvelles urbanisations pose généralement des problèmes humains difficiles à résoudre pendant une longue période de transition au cours de laquelle tantôt les équipements collectifs et les services sociaux sont insuffisants ou mal organisés, tantôt le centre ville est incapable de jouer son rôle d'animation du fait de la trop grande rapidité de transformation du tissu urbain et de l'incapacité des mentalités à s'adapter à une situation en changement constant. Un contrôle très strict de la croissance n'est pas toujours suffisant pour donner la vie à une cité nouvelle qui peut fort bien ne devenir, à sa maturité, qu'un "grand corps sans âme".

D'autre part, une telle politique d'urbanisation ne respecte pas les tendances naturelles d'évolution du centre ville : remettre en question la densification et la concentration des fonctions urbaines centrales, freiner la croissance du centre principal n'engendrent-ils pas des risques à long terme pour les villes moyennes ? *Le rôle d'un centre est d'être attractif, et lui dénier cette fonction ou seulement brider son développement de façon autoritaire pourraient peut-être le dénaturer, le déshumaniser et, en amoindrissant son importance dans la ville, organiser son dépérissement.*

1.2.3.3. - Importance donnée à la voiture particulière.

Il apparaît assez clairement à l'analyse que la conception d'ensemble de la planification du SDAU a été dominée par l'idée que la ville devait s'adapter à l'automobile. En effet, *le principal intérêt du développement décentralisé n'est-il pas de constituer la seule évolution possible compatible avec l'utilisation maximale de la voiture particulière ?*

Le postulat du SDAU, c'est la croissance du taux de motorisation des ménages jusqu'à des valeurs comparables à celles des villes américaines, alors que les densités de population et d'emploi y sont beaucoup plus faibles que dans les villes françaises. C'est aussi une répartition entre les modes de transports privés et collectifs extrapolant les tendances actuelles, ou envisageant

* Etudes préliminaires d'infrastructures de transport - note de synthèse.

au mieux un arrêt de la baisse ou une légère croissance de la fréquentation des transports en commun, alors que le niveau actuel de service des transports collectifs est bas comparé à ceux relevés dans d'autres villes européennes de même importance.

Dans cette solution où les transports collectifs sont relégués à un rôle de dépannage, le choix opéré en faveur de la voiture particulière se répercute principalement sur le devenir du centre et sur le volume des investissements en jeu, et il donne au système d'infrastructures mises en place une grande rigidité.

1.2.3.3.1. - Conséquences sur l'avenir du centre.

Malgré la baisse d'influence relative du centre principal dans l'agglomération de Neuchâteau en l'an 2000 en comparaison de son rôle actuel, le SDAU prévoit la mise en chantier d'un nouveau centre d'affaires à quelque distance du centre traditionnel. Mais la vitalité de ce centre est étroitement liée au développement du périphérique Est et des aires de parking s'y rapportant, puisque la voirie actuelle est saturée et l'offre de stationnement déjà insuffisante. *Ainsi l'avenir du centre est conditionné par la création d'infrastructures routières qui ne peuvent être réalisées qu'en creusant de profondes saignées dans le tissu urbain traditionnel (cf. fig. 12.8 et 12.11).*

Enfin, la création du périphérique, destiné à détourner du centre le trafic de banlieue à banlieue, isole le centre du reste de la ville : cette mesure semble bénéfique à court terme, mais elle hypothèque la croissance du centre, inscrite dans les limites imposées par le réseau routier.

Elle a été d'ailleurs critiquée par quelques personnalités :

"Quelle que soit la proximité de la rocade au centre, ne peut-on craindre qu'à un stade ultérieur, celui-ci, enserré par le périphérique, ne doive dépérir ? Qu'advient-il des habitants de ce centre ? La plupart d'entre eux seront rejetés à la périphérie par la spéculation foncière, mais les conditions de vie de ceux qui resteront ne seront guère enviables, si l'on songe aux nuisances dues aux travaux (expropriations, chantiers...) pendant la période traitée par le SDAU, et à la pollution causée par la voiture particulière (fumées, bruit...), sans oublier les risques encourus par les piétons hors des rares domaines qui leur seront réservés* ?

Cette vision des choses est certes pessimiste en regard de l'évolution des villes moyennes constatée actuellement, mais elle n'est pas utopique à long terme si l'importance accordée à la voiture particulière n'est pas remise en question.

1.2.3.3.2. - Conséquences sur le volume des investissements.

Le réseau de voirie rapide mis en place à l'horizon du SDAU, en l'an 2000, représente pour la première phase un total de 60 km d'autoroutes ou de voies express à construire de 1973 à 1985. La seconde phase est d'une importance comparable, avec un kilométrage de voirie rapide prévu de 58 km entre 1985 et 2000. Le financement d'un tel réseau qui représente un effort financier

* Selon M. SALMER, conseiller municipal de Neuchâteau.

N346

N346

N1278

N117

- Voie existante
- Voie projetée
- Emprise de la voie projetée

CENTRE VILLE SDAU 2000

PROPOSITIONS ROUTIÈRES

0 100 200 300m

Fig:12-11

considérable (cf. § 3.3.3.3.), ne pourra être assuré qu'au détriment des autres équipements collectifs nécessités par l'accroissement de la population.

De plus, la construction de voies rapides nécessite celle de parkings. Une place de parking souterrain coûte de 10.000 F à 25.000 F - Pour Neuchateau, les investissements en parkings sur la période du SDAU atteignent près de 350 MF pour la zone centrale.

Certes, dans certaines villes européennes comparables, en Hollande et en R.F.A. par exemple, les investissements actuellement consentis pour les infrastructures de transport atteignent couramment des valeurs équivalentes mais la part des investissements consacrés aux transports en commun est à peu près du même ordre de grandeur que la part des investissements de voirie.

Pour Neuchateau, la justification des investissements en faveur de la voiture particulière est basée sur la continuation du processus qui a conduit les usagers des autobus à abandonner les transports en commun : niveau de service des transports collectifs décroissant et report de certaines catégories d'usagers vers la voiture particulière. Comme, de ce fait, la congestion de la voirie augmente ainsi que la part des déplacements en véhicules particuliers, les investissements routiers peuvent être favorisés, ce qui attire de nouvelles catégories d'usagers des transports en commun, augmente la congestion et fait baisser le niveau de service des transports collectifs, etc...

Le report vers le véhicule individuel n'est pourtant pas systématique : les "captifs" des transports en commun n'en ont aucun à leur disposition. Cette catégorie, qui représente et représentera dans vingt ans au moins 30% des citadins, peut renoncer à se déplacer lorsque les autobus n'assurent plus un service suffisant. *L'effort financier important consenti en faveur des transports ne donne pas, par conséquent, l'accessibilité aux emplois et services pour une part importante des habitants. Ceux-ci, néanmoins, participent à un effort financier en faveur de la voiture particulière, effort qui entrave leur liberté de circulation.*

1.2.3.3.3. - Remarques sur la rigidité du système d'infrastructures routières.

En 1973, le SDAU prévoyait pour "Ville Ouest" une croissance en vingt ans à 100.000 habitants, soit une densité moyenne en 2000 de 34 habitants à l'hectare. Dans le même temps, 22000 emplois doivent être créés dans les différents secteurs de l'industrie et du commerce. Les planificateurs de SDAU ont calculé qu'en conséquence il fallait construire 27 km de nouvelles voies rapides afin d'absorber le trafic prévu entre la ville nouvelle et l'ancienne et vice-versa. Comme il est impératif que l'ensemble du système proposé soit en place au terme du SDAU, les travaux de réalisation devaient débiter incessamment sur certains tronçons : vue l'importance des infrastructures, il serait très difficile de changer leur emplacement ou la nature de la voie par la suite. Si pour une raison quelconque des décisions sont prises ultérieurement pour modifier la taille de la ville ou changer sa densité globale ou la répartition des activités, la route construite peut s'avérer mal placée, sur ou sous dimensionnée, voire même inutile.

La taille et la rigidité des grandes infrastructures de transport peut donc constituer une source importante de gaspillage des deniers publics, si les planificateurs n'ont pas une maîtrise parfaite du développement de l'agglomération.

De plus, le problème de la fréquentation des transports publics, qui n'a cessé de diminuer depuis 1958 à Neuchâteau, mérite un examen approfondi. Une variante du SDAU réellement favorable aux transports publics est-elle réalisable ? Quelles conditions doit remplir le système de transport public pour être vraiment attractif sans coûts de réalisation et de fonctionnement exorbitants ?

Ce n'est qu'après avoir répondu à ces diverses questions qu'il sera possible de passer à la phase constructive de l'étude : une variante de SDAU organisée au point de vue transport non plus en fonction du déplacement des véhicules particuliers mais de façon à favoriser l'accessibilité aux emplois, aux services et aux loisirs pour l'ensemble des habitants.

1.2.4. - CONCLUSION.

Conscients que les options du SDAU pouvaient donner lieu aux critiques qui sont développées dans l'analyse précédente, les planificateurs se sont efforcés de la réfuter par avance en faisant allusion aux transports en commun en différents passages du livre blanc, notamment :

- . en insistant sur le fait que les infrastructures de voirie seront utilisées aussi par les autobus et constituent par conséquent des infrastructures mixtes.
- . en prévoyant de créer dans l'hypothèse A un site propre permettant de relier le centre de Neuchâteau à la principale ville nouvelle.

Cependant, il est bien précisé chaque fois que ces possibilités ou ces perspectives ne remettent pas en cause l'importance des infrastructures routières. Il apparaît bien que ces idées, précisément dans la mesure où elles n'ont aucun impact sur la planification, ne correspondent pas à la pensée profonde des planificateurs et constituent en quelque sorte des alibis.

Néanmoins, de telles allusions aux transports publics constituent tout de même une base de départ et fournissent un fil conducteur pour la suite de l'étude.

CHAPITRE 1.3. - LE TRANSPORT PUBLIC, ELEMENT D'UNE POLITIQUE URBAINE

1.3.1. - ORIENTATION GENERALE DE L'ETUDE

1.3.1.1. - Objectif de l'étude

L'analyse générale du premier chapitre confrontée à la description du S.D.A.U. de Neuchâteau, met en évidence un déphasage : la doctrine appliquée dans la planification de la ville ne tient pas suffisamment compte de l'évolution récente des idées en matière de déplacement urbain.

L'objectif de la présente étude se déduit de cette confrontation : proposer une révision du S.D.A.U. existant, une alternative à la solution initiale s'appuyant sur les conclusions de l'analyse socio-économique.

L'esprit de cette révision n'est pas de réduire par principe le rôle de l'automobile comme mode de déplacement urbain. Il est de dégager une solution équilibrée où les individus ne soient plus obligés, et soient moins souvent tentés d'utiliser l'automobile. Il part de l'idée que le progrès n'est plus de chercher à augmenter à tout prix le nombre de bénéficiaires d'un avantage individuel sans trop se soucier des laissés pour compte ; car cette augmentation conduit pour les bénéficiaires eux-mêmes à une dégradation de l'avantage et pour la collectivité à des nuisances et des coûts excessifs. L'esprit de cette révision est de proposer des solutions qui incitent le citoyen à se détourner des comportements préjudiciables à la collectivité.

1.3.1.2. - Choix de l'instrument d'une politique

L'instrument de cette révision est un système de transport efficace où le transport public doit jouer un rôle important. Pour jouer son rôle d'élément d'une nouvelle politique urbaine, le transport public doit subir une véritable mutation. Cette mutation peut revêtir deux aspects : changement dans la nature du service rendu, ou simplement changement de la qualité du service.

En l'état actuel des techniques utilisées, le transport public d'un coût acceptable - ce qui exclut le taxi par exemple -, le "transport de masse" est lié à la notion de lignes et de points fixes d'arrêt ; les véhicules doivent s'arrêter en des points intermédiaires entre les stations d'origine et de destination de la quasi-totalité de leurs passagers et chaque déplacement exige des trajets à pied aux deux extrémités du parcours. Peut-on changer la nature de ce service ? Peut-on en particulier concurrencer l'automobile en fournissant un service sur mesure, une desserte porte à porte sans attente ?

A l'heure actuelle, il n'existe pas de système de transport en commun ayant tous les avantages de l'automobile. Un tel système n'est pas près d'exister et il n'est pas sûr qu'il puisse exister un jour. Il n'est même pas certain que le problème soit de nature technique et qu'il n'y ait pas incompatibilité fondamentale. Il y a d'ailleurs, d'autres incompatibilités dans le phénomène d'urbanisation : par exemple, on ne peut à la fois attribuer à chacun de vastes espaces et mettre tout le monde à proximité des hôpitaux, écoles, lieux de loisirs et d'emploi...

Force est donc de prendre comme instrument de la nouvelle politique urbaine l'instrument classique en le perfectionnant ; utiliser au mieux les moyens disponibles est une attitude simplement réaliste que l'on confond souvent avec le conservatisme technique de ceux qui ne veulent utiliser que ceux des moyens existants dont ils ont la pratique. Fonder une politique sur des moyens non disponibles est une manière de fuite devant les réalités dans la mesure où son application est reportée à une date indéterminée.

Le présent chapitre est donc consacré à la définition de cet instrument : normes de fonctionnement, contraintes qu'il impose et esquisses des solutions envisageables.

1.3.1.3. - Méthode utilisée

Il n'existe pas de consensus sur les normes d'une bonne qualité de service d'un réseau de transport public, malgré la masse de documents et d'études concernant les transports urbains. C'est un domaine dominé par des éléments subjectifs et il ne peut y avoir de règles incontestables et intangibles.

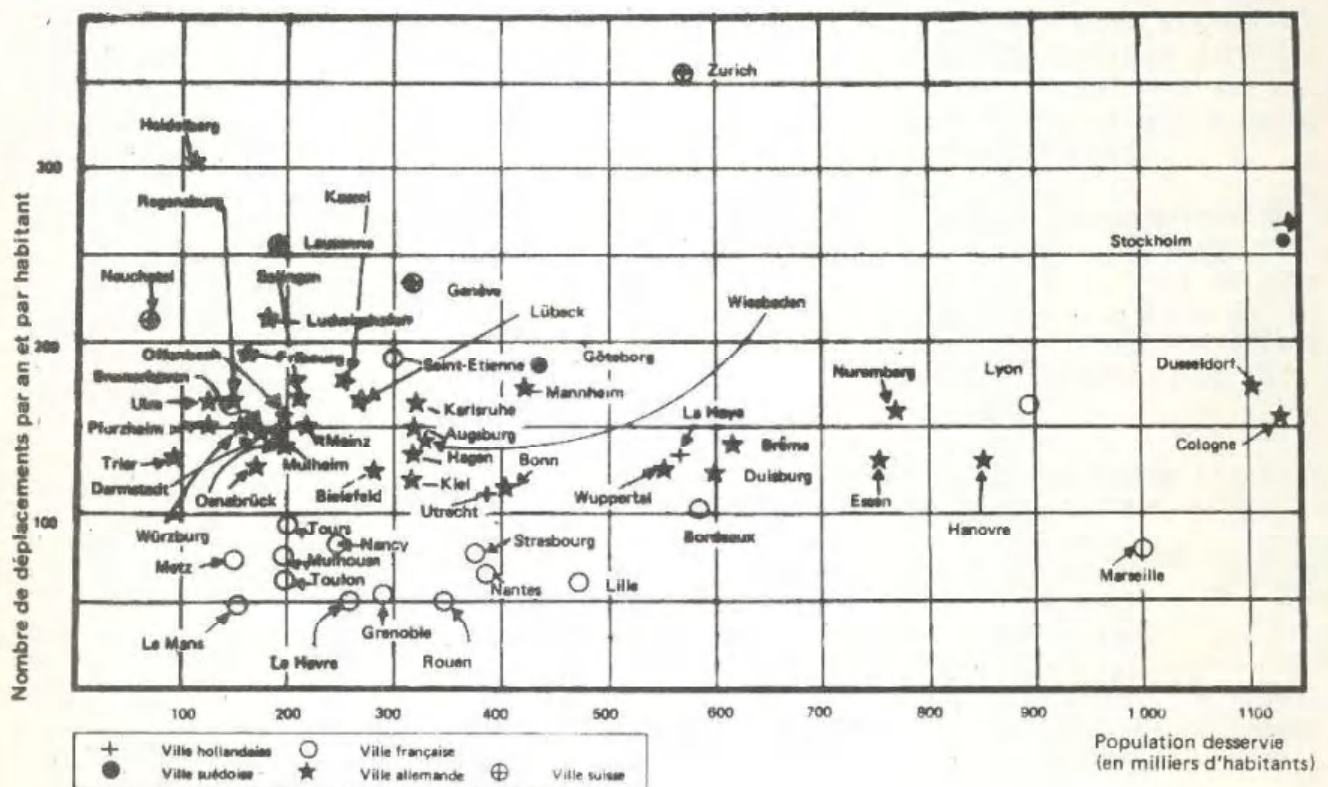
Malgré cette absence de codification, il n'y a pas ignorance complète. Si l'on considère un certain nombre de villes où le bon fonctionnement du réseau de transport urbain est attesté par une fréquentation intensive (cf. fig. 13.1), on constate une certaine convergence dans les caractéristiques de fonctionnement de ces réseaux. Des expériences et des observations faites dans des circonstances assez diverses, apportent également une somme d'informations.

Il est donc possible, en exploitant tous ces éléments, de donner une image approximative de ce qui peut être considéré comme un système de transport public efficace. Cette image pourra être modifiée, certains traits pourront être rectifiés en fonction d'études plus poussées mais, si l'on reste dans le cadre précédemment défini d'un réseau de transport classique, elle ne pourra pas subir de distorsions sensibles.

La démarche suivie consiste à rechercher quelles peuvent être les exigences du citoyen et d'esquisser ensuite les dispositions fonctionnelles qui peuvent répondre à ces exigences. Pour ordonner les idées, on peut dire que le citoyen est concerné de trois façons différentes :

- en tant que client potentiel intéressé essentiellement par la qualité du service offert : extension géographique, extension dans le temps, fréquence, régularité, vitesse, confort, etc...
- en tant que riverain éventuel, ce sont les retombées négatives du transport public qui doivent être examinées : pollution, gêne visuelle, bruit, effet de coupure, etc...
- en tant que citoyen sensible aux dépenses de financement des investissements, aux dépenses de fonctionnement du service, mais également intéressé au devenir de la ville.

FIG. 13.1. - MOBILITE ASSUREE PAR LES TRANSPORTS COLLECTIFS URBAINS (en 1971)



Source : Les transports collectifs et la ville (éditions Celse)

1.3.2. - CARACTERISTIQUES SOUHAITEES PAR LA CLIENTELE

1.3.2.1. - Extension du réseau

Certains planificateurs ont eu, jusqu'à une période récente, tendance à intégrer le transport public dans une logique de système routier. Le transport public est "reconnu" lorsque la solution routière est insuffisante. Le T.C.S.P. est placé en haut d'une hiérarchie de voies routières de capacité croissante. Si sur un axe, les flux de voyageurs sont supérieurs à ce que peut écouler une autoroute, on prévoit un T.C.S.P. Par ce processus, on aboutit donc à programmer un ou deux tronçons de "mass transit". Partout ailleurs, le transport public est supposé fonctionner comme il peut ; il est sans importance puisque les déplacements peuvent s'y effectuer par automobile.

Le transport public ne peut être le substitut d'un tronçon d'autoroute saturée. Son développement a une logique propre. La première notion qui s'impose dans la planification des transports publics d'une ville est celle de réseau opposée à

l'idée d'un ou deux axes privilégiés de desserte. Il ne peut y avoir d'efficacité réelle du transport public que par une desserte de toute l'étendue de l'agglomération ; même si quelques artères du réseau sont prioritaires du fait du nombre important de voyageurs qui y transitent, les flux de ces artères principales ne sont importants que dans la mesure où les lignes affluentes les alimentent, en allant elles-mêmes desservir la clientèle dans toute l'étendue du territoire urbanisé. Le moyen de transport public ne peut être en effet ressenti comme compétitif avec l'automobile que s'il donne la possibilité du choix, s'il forme un réseau multidirectionnel maillé, s'il donne l'accessibilité dans toutes les directions.

1.3.2.2. - Zone d'influence des stations

Quelle est la distance d'attraction d'une station et quelle desserte en surface assure-t-elle ?

L'étude a été faite en particulier pour les stations de métro de la région parisienne, en banlieue résidentielle. Si l'on suppose par hypothèse que la dissuasion entraînée par la distance d'accès à la station est nulle (100 % d'utilisation) pour une valeur inférieure à 100 m, le taux d'utilisation est de 92 % pour 400 m de distance, 57 % pour 600 m de distance et 13 % pour 900 m de distance.

Définissons la "distance efficace" de desserte comme la distance fictive ayant les deux propriétés suivantes :

- en dessous de cette distance, le taux d'utilisation est égal à 100 % ; au delà il est de 0 %
- dans l'hypothèse d'une répartition homogène de l'habitat, le trafic induit suivant cette loi est le même que celui apporté par la loi d'attractivité décrite précédemment.

Cette distance efficace, dans le cas précédent, est de l'ordre de 600 m et correspond à une superficie desservie voisine de 90 hectares, qui peut varier en fonction de la texture du réseau viaire autour de la station (elle serait de 110 hectares si tous les trajets terminaux étaient rectilignes).

Les valeurs indiquées sont des moyennes qui masquent les différences importantes de comportement des citoyens suivant leur revenu, le motif de leur déplacement, la longueur totale du déplacement, la qualité - vitesse, régularité et confort - du moyen de transport mis à leur disposition et l'heure de la journée. Néanmoins elles fournissent une indication sur l'attitude du citoyen par rapport aux déplacements à pied jusqu'à une station de transport public.

Le comportement des citoyens dans les métropoles régionales est semblable à celui qui vient d'être décrit. La seule différence que l'on constate est un resserrement des distances. La dissuasion est la même pour les distances plus faibles, variable suivant le type de transport assurant la desserte. En moyenne, la superficie desservie par une station est de :

- 45 hectares pour un axe important en site propre,
- 25 hectares pour une ligne d'autobus.

1.3.2.3. - Extension du service dans le temps

Le principe de la desserte sur toute l'étendue de l'agglomération se complète naturellement par celui du fonctionnement du service durant l'ensemble de la journée et la totalité des jours de l'année. Bien que l'activité en fin de soirée soit faible et que la fréquentation des transports urbains le soir ou le dimanche soit très limitée, le fait de "couvrir" la durée totale de la vie urbaine est un élément prépondérant pour la représentation que se font du transport urbain ceux qui en constituent la clientèle potentielle.

En effet, outre le sort des "captifs" des transports en commun habitant loin du centre, pour qui l'arrêt du service a valeur de "couvre-feu", il ne faut pas négliger les autres clients : le fait de se trouver sans moyen de transport en soirée lors d'un retard imprévu important, au retour d'un voyage par un train de soirée ou un dimanche, etc... détériore l'idée que l'on se fait du service offert et réagit sur le comportement quotidien, même aux heures et aux jours où le service est intégralement assuré.

L'activité urbaine commence à 5 heures du matin et s'arrête presque complètement après minuit. C'est donc une amplitude de service de 20 heures par jour qu'il faut.

1.3.2.4. - Régularité, fréquence et vitesse

Indépendamment du temps de trajet à pied aux extrémités du déplacement, le temps de transport dépend du temps d'attente, de la vitesse et éventuellement du temps de correspondance.

Une caractéristique importante pour le transport public est ce que l'on peut appeler "la sécurité du temps de transport". La durée moyenne du déplacement y est toujours supérieure à celle du même déplacement effectué en automobile, mais il est possible malgré cela, d'assurer l'attractivité, si cette durée moyenne est sûre : l'écart type doit être le plus faible possible.

En trajet urbain, l'automobile ne peut pas dans tous les cas assurer cette sécurité. La circulation est un phénomène aléatoire et lorsqu'elle est à la limite de capacité, l'encombrement est un risque fréquent ; de plus, la durée de recherche d'une place de stationnement est souvent non négligeable et le parcours terminal à pied est très variable.

a/ régularité

Pour l'assurer, il faut que sur tous les itinéraires où il y a risque d'engorgement de la circulation générale, le transport public soit indépendant de ces aléas, donc séparé le plus possible de cette circulation : il faut lui dégager un site propre par les moyens les plus appropriés.

b/ fréquence

Dans un système de transport classique, le temps d'attente est une composante inéluctable du temps de déplacement. Il y a trois sortes d'attente :

- l'attente aléatoire, correspondant à une certaine probabilité de passage sans aucune garantie de durée ; par exemple l'attente d'un autobus en zone encombrée, ou d'un taxi lorsque les passages sont rares,

- l'attente à durée limitée, la probabilité d'attente est égale pour toutes les durées comprises entre 0 et un maximum connu ; le cas se présente pour tous les systèmes de transport respectant un horaire régulier mais non affiché,
- l'attente à durée connue ; celle d'un moyen de transport dont l'horaire est affiché et publié, et qui est en mesure de respecter cet horaire.

L'observation des réseaux de transport de villes bien desservies permet de fixer les valeurs des attentes acceptables.

L'attente aléatoire est toujours dissuasive. L'attente à durée limitée est admissible lorsque les fréquences sont élevées ; une attente maximale de 3 minutes pour un déplacement urbain est généralement bien admise. L'attente à durée connue permet par contre des intervalles plus grands ; les habitués peuvent toujours s'organiser pour ne pas subir cette attente, et les non habitués connaissant la durée de leur attente, celle-ci leur paraît moins longue.

Il serait extrêmement coûteux d'assurer à la fois une desserte très développée en superficie et une fréquence élevée, surtout pour les trafics faibles de certaines lignes ; la règle fondamentale de l'organisation du transport public urbain est donc l'affichage de l'horaire, sauf pour les liaisons à très grandes fréquences ; lorsque l'intervalle de passage n'est jamais supérieur à 5 minutes même aux heures creuses, l'affichage de l'horaire n'est plus indispensable.

Même avec l'affichage des horaires, l'intervalle de passage aux heures creuses ne doit être supérieur à 20 minutes que dans des circonstances exceptionnelles (liaisons avec des communes éloignées). L'intervalle sur les lignes urbaines ne doit pas alors dépasser 10 à 15 minutes.

Pour faciliter la publication et la mémorisation des horaires, les intervalles doivent être identiques sur des larges tranches de temps, et correspondre à des fractions entières de l'heure : 3 minutes, 4 minutes, 5, 6, 10, 15 ou 20 minutes.

Le respect d'un horaire affiché suppose une bonne régularité. En outre, il impose un certain excédent des moyens mis en oeuvre par rapport à ceux qui s'ajusteraient exactement à la demande mesurée. Néanmoins, une telle conception du fonctionnement des services de transports urbains est appliquée dans un certain nombre de villes qui se trouvent être parmi celles où la fréquentation des transports publics est la plus élevée.

Le respect d'un horaire affiché est également la seule façon de faire coïncider les correspondances dans le temps et d'éviter de superposer, au temps d'attente au départ, un temps d'attente de correspondance pour tous ceux qui doivent changer de ligne en cours de trajet.

c/ vitesse

La vitesse moyenne des véhicules de transport public de surface dans les grandes villes françaises varie de 11 km/h à 15 km/h. A Paris, elle est inférieure à 10 km/h. Encore s'agit-il de moyennes pour l'ensemble de la journée qui recouvrent des dispersions considérables.

Dans une circulation fluide, les véhicules de transport urbain classiques soumis

aux mêmes impératifs que les autres véhicules (arrêts aux feux rouges) et s'arrêtant en outre aux stations espacées de 400 à 600 m peuvent assurer des vitesses moyennes de 17 km/h à 20 km/h. Ces mêmes véhicules circulant sans être astreints aux attentes aux carrefours, qu'ils soient en site propre intégral ou qu'ils bénéficient intégralement de priorités aux croisements, assurent des vitesses de 25 à 28 km/h. Des vitesses de cet ordre sont suffisantes et il n'y a pas lieu de rechercher des améliorations dans les performances des véhicules ou dans des procédures d'exploitation plus complexes (express ou omnibus) pour des déplacements urbains et suburbains dans une aire urbaine de l'ordre de 140 km² où la longueur des déplacements est presque toujours inférieure à 10 km et dont la longueur moyenne est de l'ordre de 4 km.

1.3.2.5. - Le confort des véhicules

Le confort est, pour le transport urbain un facteur d'attractivité d'importance croissante. La notion de confort inclut plusieurs composantes.

Certaines composantes du confort ressortent de la qualité de la mise en oeuvre ou de particularités d'aménagement des véhicules. Dans cette catégorie on peut classer le niveau de bruit et des vibrations à l'intérieur des véhicules, la climatisation, l'éclairage, le galbe et la disposition des sièges, la visibilité des voyageurs vers l'extérieur, la décoration intérieure, la douceur du roulement. Les préoccupations correspondantes sont du domaine de la réalisation et il serait prématuré de les examiner en détail en même temps que les problèmes de politique et d'économie générale.

D'autres composantes du confort sont essentielles au stade de la conception d'ensemble car elles ont des conséquences directes sur les caractéristiques du système. Ce sont principalement la proportion des places assises, et l'espace attribué aux voyageurs debout.

La capacité nominale des véhicules est définie pour déterminer le nombre de véhicules en service à l'heure de pointe d'un jour moyen de semaine, en fonction de la fréquentation du tronçon le plus chargé des lignes dans le sens de charge maximale. Sur le reste du parcours aux heures de pointe, et sur la totalité du parcours en dehors des heures de pointe, le coefficient de remplissage est généralement inférieur à 1. En moyenne générale sur l'année, il est de 0,20 à 0,25 (1) pour un réseau assurant une bonne desserte d'heure creuse. Par contre, la capacité nominale peut être dépassée en cas de trafic exceptionnel en heure de pointe, ou de dispersion dans les fréquences de passage des véhicules.

Pour un moyen de transport de personnes, les coûts principaux ne sont proportionnels ni au nombre de personnes transportées, ni à la capacité nominale, mais pratiquement au nombre de mètres carrés de plancher déplacés.

Si l'on voulait que tout voyageur puisse s'asseoir en toutes circonstances - ce qui a été parfois préconisé - il faudrait prévoir une surface de plancher de 0,60 m² par personne : 0,40 m² par place, augmenté de 50 % pour les dégagements. Le coût serait très élevé.

(1) A remarquer que le coefficient de remplissage moyen d'un véhicule particulier en usage urbain est du même ordre : 1,25 place occupée pour 5 places normales.

A l'autre extrémité de la gamme de confort possible, il a été montré que les voyageurs pouvaient être entassés à raison de 0,10 à 0,12 m² par personne (debout). Les règlements français prévoient d'attribuer 0,17 m² par voyageur debout. Dans ces conditions le confort est relatif, les temps d'arrêt aux stations sont augmentés du fait de la difficulté de circuler dans les voitures et la possibilité d'éprouver les pointes exceptionnelles de trafic est réduite.

La valeur de 0,25 m² par voyageur debout, laquelle est progressivement adoptée dans les réseaux modernes est une norme convenable.

Pour ce qui est de la proportion de places assises, une norme précise ne peut être adoptée car il n'est pas possible d'inscrire un nombre prédéterminé de sièges dans un véhicule donné ; les possibilités sont différentes suivant la largeur, le nombre et la position des portes, les encaissements pour les roues, etc. De plus, il peut être préférable dans certains cas d'installer un plus grand nombre de sièges, chacun d'eux occupant une plus petite surface, ou de mettre des strapontins et moins de sièges fixes.

Compte tenu de la durée relativement limitée du séjour des voyageurs dans les véhicules et de la faible proportion du temps pendant lequel l'occupation des véhicules atteint la capacité nominale, une proportion de places assises variant entre 40 % et la moitié de la capacité nominale est acceptable. La surface de plancher par passager est de 0,3 m² à 0,325 m². La valeur adoptée dans la suite de l'étude pour les différents matériels considérés est de 0,32 m² par passager.

1.3.2.6. - Simplicité d'utilisation - Tarification

Le dernier facteur qui peut être considéré comme fondamental dans l'image du transport public urbain telle que se le représente l'utilisateur éventuel est sa simplicité d'utilisation. Cette notion concerne de nombreux aspects du système de transport : signalisation et information aux voyageurs, facilité d'accès aux arrêts et dans les véhicules, etc...

La tarification est un des domaines que l'on doit organiser en pensant d'abord à la simplicité d'utilisation. Cette question est indépendante de l'objet principal de cette étude, puisqu'une structure de tarification donnée peut s'appliquer à n'importe quelle texture de réseau et ne dépend pas principalement du type de véhicule utilisé. Elle n'est donc pas développée dans ce chapitre. Il convient seulement de souligner, pour une ville de l'importance de celle étudiée, l'intérêt du tarif unique ou de la tarification à deux niveaux - trajet court et trajet long - qui évite de faire payer deux fois en cas de correspondance. De même toutes les facilités offertes au voyageur telles que les cartes d'abonnement sont des éléments d'attractivité supplémentaire.

1.3.3. - CARACTERISTIQUES SOUHAITEES PAR LES RIVERAINS

Les riverains d'une ligne de transport public nouvelle ou à créer n'admettent pas qu'elle leur apporte une gêne quelconque dans leur vie quotidienne. Le métro souterrain constitue donc pour eux le système idéal de transport puisqu'une fois les travaux terminés la gêne est négligeable : quelques vibrations dans le cas de réalisations anciennes, mais que les progrès de la technique permettent maintenant de supprimer.

Du fait des investissements nécessaires, la construction d'infrastructures souterraines ne peut être l'unique solution du problème des nuisances. Il faut donc analyser les différents types de nuisances des systèmes de surface pour rechercher la façon de les éliminer ou de les réduire : les nuisances dont il s'agit sont la pollution, la gêne visuelle, les bruits et les vibrations, enfin la coupure éventuelle dans l'urbanisation.

1.3.3.1. - Pollution atmosphérique

Sauf lorsqu'elle est produite à partir de l'électricité, l'énergie dissipée est source de pollution (1). Une part importante de la pollution de l'air des grandes villes est le fait de la circulation automobile.

Le chauffage domestique et les activités industrielles sont les deux autres causes principales de pollution.

L'intensité de la pollution automobile est directement proportionnelle à la consommation de carburant. Or le transport public, quel que soit le mode de propulsion utilisé, consomme, pour assurer les mêmes déplacements, environ 4 fois moins de carburant que l'automobile. L'autobus utilise le moteur diesel qui émet, par m³ de gaz d'échappement, beaucoup moins de gaz nocifs que le moteur à essence comme le montre le tableau de la page suivante.

Il en résulte que la part des transports publics dans la pollution de l'atmosphère urbaine est dans tous les cas, faible. Le problème de la pollution par le moteur à combustion interne des autobus ne peut pas être un élément prépondérant dans le choix du système de transport public, et plus précisément dans le choix entre un système à propulsion électrique et un système à propulsion par moteur diesel.

Néanmoins, il ne doit pas être tenu pour négligeable, et peut constituer un argument complémentaire de choix d'un système.

(1) Les centrales thermiques sont sources de pollution mais en dehors des grandes villes

EMISSION DE GAZ NOCIFS PAR LES MOTEURS A COMBUSTION INTERNE

(Concentration en proportion par million ; par exemple cm3 par m3)

Type de moteur	Substance polluante	Au ralenti	Lors de l'accélération	Vitesse de croisière	Lors de la décélération
Moteur à essence	Monoxyde de carbone (CO)	69 000	29 000	27 000	39 000
	Hydrocarbures	15 300	1 600	1 000	10 000
	Oxydes d'azote (NO et NO ₂)	30	1 020	650	20
	Aldéhydes	30	20	10	290
Moteur Diesel	Monoxyde de carbone (CO)	traces	1 000	traces	traces
	Hydrocarbures	400	200	100	300
	Oxydes d'azote (NO et NO ₂)	60	350	240	30
	Aldéhydes	10	20	10	30

Source : Les transports collectifs et la ville (éditions Celse)

1.3.3.2. - Gêne visuelle

Le transport public peut être une cause de gêne visuelle pour le riverain par :

- la perte de luminosité et d'ensoleillement
- la violation d'intimité
- l'intrusion visuelle, c'est à dire l'occupation de l'espace visuel dont il profite
- la dégradation éventuelle de l'agrément du site.

Cette dernière nuisance concerne d'ailleurs l'ensemble de la population et non plus seulement les riverains.

L'hostilité fondamentale que peut susciter l'éventualité de la construction d'un ouvrage apportant une gêne visuelle pour les riverains et l'unanimité des réactions qu'elle peut susciter ont été assez souvent sous-estimées. Pourtant l'importance attachée à une "vue dégagée" apparaît nettement dans les différences de valeur entre appartements d'un même immeuble suivant leur situation, avec ou sans "vue dégagée". Par ailleurs, l'expression "beaux quartiers", qui ne désigne pas nécessairement des quartiers calmes, indique la valeur que les personnes aisées accordent à l'agrément du site.

La gêne visuelle intervient essentiellement dans le cas des plateformes surélevées. Elle dépend de la taille apparente de l'obstacle donc de sa dimension et de son éloignement des maisons riveraines ; la violation d'intimité ne dépend que de la distance des véhicules aux façades d'immeubles.

Les deux aspects fondamentaux de l'insertion de plateformes surélevées en milieu urbain sont d'une part la hauteur minimale de l'ouvrage, et d'autre part l'implantation et l'encombrement des stations.

La hauteur minimale de l'ouvrage d'un moyen de transport surélevé, est imposée par le gabarit routier : il doit normalement avoir un tirant d'air de 4,75 m au dessus de la chaussée. Compte tenu des épaisseurs des structures, le niveau de l'oeil du voyageur se situe entre 7 et 8 m de hauteur. Lorsque la ligne est à faible distance d'immeubles d'habitation, cette situation provoque donc une intrusion visuelle aux 1er et 2ème étage des immeubles. Lorsqu'il existe déjà des passages supérieurs sur l'itinéraire considéré, la hauteur des installations peut devenir très importante, et l'intrusion visuelle concerne alors un plus grand nombre d'étages.

Quelle que soit la largeur des véhicules, les stations constituent des points singuliers d'encombrement importants du fait qu'il faut comprendre les escaliers d'accès parmi les difficultés à résoudre.

La gêne visuelle provoquée par un système en site propre en élévation peut donc être considérée comme rédhibitoire lorsque les deux conditions suivantes sont réunies :

- la percée utilisée par le viaduc a une largeur inférieure à 30 ou 40 m,
- de part et d'autre de cette percée les habitations sont en proportion notable.

Par contre, dans les zones industrielles, d'entrepôts, ou ports, un viaduc n'entraîne aucune gêne visuelle appréciable.

1.3.3.3. - Le bruit

1.3.3.3.1. - Définitions

Le bruit est l'un des principaux désagréments de la vie urbaine et la circulation de véhicules à moteur est la source prépondérante du bruit dans les villes. Pour dégager quelques règles générales qui s'appliquent aux transports urbains, il convient de rappeler les lois élémentaires de l'acoustique.

L'oreille humaine enregistre des variations de pression acoustique comprises entre 2 10⁻⁵ Pascals (seuil d'audibilité) et 20 Pascals (seuil de douleur).

L'échelle logarithmique exprime plus aisément les différents niveaux de bruit.

Si p est la variation de pression acoustique d'un son donné, P_0 étant le seuil d'audibilité, l'intensité sonore est :

$$N = 20 \log \frac{P}{P_0}, \text{ N étant mesuré en décibels.}$$

Le seuil d'audibilité est de 0 décibel et le seuil de douleur est égal à 120 décibels.

L'oreille est sensible à la fréquence des sons. Elle perçoit les fréquences de 20 à 15 000 hertz, soit 5 octaves de part et d'autre du La3 (435 hertz).

Mais sa sensibilité varie avec la fréquence : elle présente un maximum pour 3 500 hertz. Pour en tenir compte, on a défini une unité, le dBA obtenue en pondérant les décibels en fonction de la fréquence suivant une courbe A (fig. 13.2) ; les sons graves sont "filtrés" ; ce qui traduit statistiquement les mesures obtenues à partir de données physiologiques.

Etant donné que, par rapport à la pression atmosphérique, les variations des pressions étudiées sont de faible amplitude, la superposition de deux sons suit une loi additive. En décibels, expression logarithmique et non linéaire, la combinai-

son des niveaux de bruit se fait en utilisant la courbe de la figure 13.3. Ainsi l'accroissement de bruit en décibels provoqué par la superposition de deux bruits de même intensité est de 3 unités.

La propagation du bruit dans l'air suit les lois suivantes, pour un spectre de fréquence et une intensité moyenne :

- dans le cas d'une source ponctuelle rayonnant dans toutes les directions, la perte de niveau ressentie est de 6 dBA à chaque doublement de la distance de la source,
- dans le cas d'une source linéaire indéfinie, la perte de niveau ressenti est de 3 dBA à chaque doublement de la distance de la source.

1.3.3.3.2. - Gêne provoquée par le bruit

On peut qualifier de bruit tout son que l'on ne désire pas percevoir.

Un bruit peut être gênant par son niveau, son spectre, la proportion du temps pendant lequel il est émis et par sa soudaineté.

a/ L'intensité

En matière de bruit, la gêne est fonction de la nature de l'activité des personnes qui y sont exposées, donc de l'heure de la journée et de la nature de l'occupation des locaux. D'après des résultats d'enquête, on a déterminé le seuil de la gêne, pour un bruit de fond permanent, qui est celui à partir duquel 10 % environ des sujets exposés déclarent être gênés. Les chiffres admis généralement sont les suivants :

- silence nocturne 30 dBA
- silence diurne 40 dBA
- bureau 50 dBA
- local commercial 60 dBA

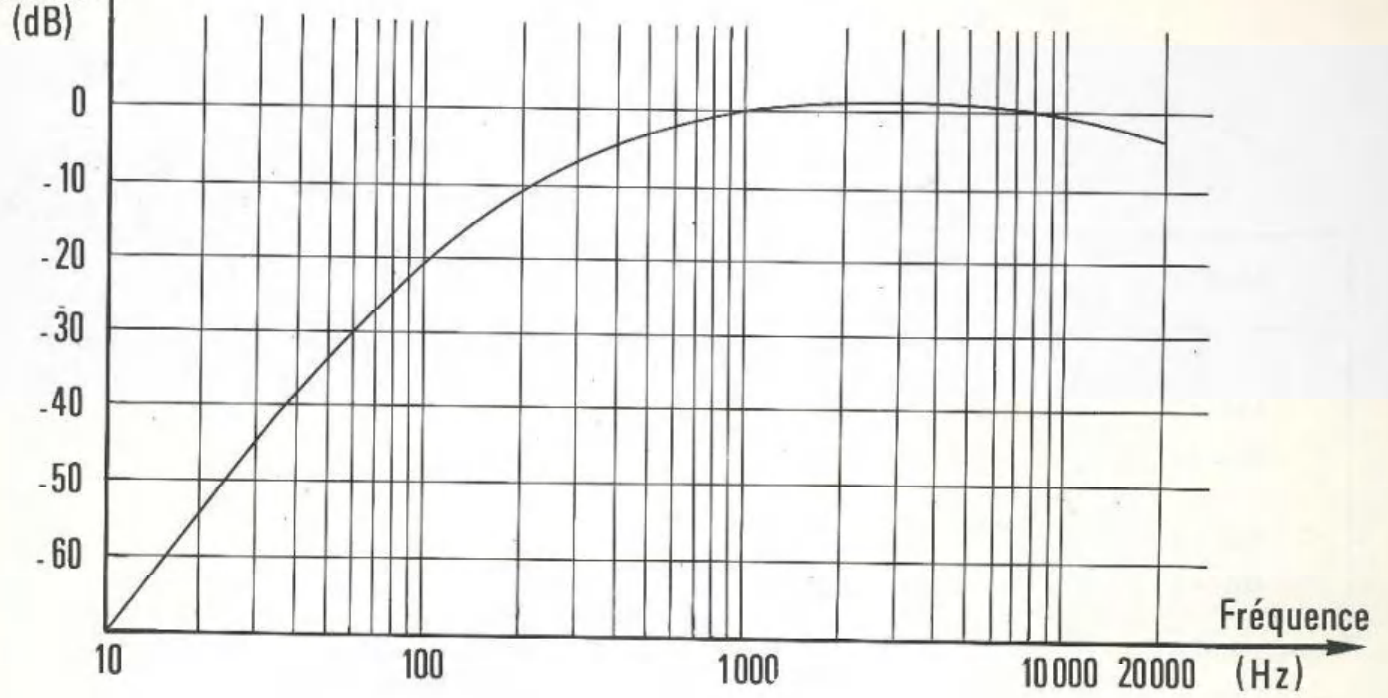
En regard de ces valeurs, les tableaux ci-dessous indiquent les niveaux de bruit dus à la circulation.

BRUIT DU A LA CIRCULATION URBAINE

Circulation (en nombre de véhicules/heure)		Niveau de bruit (ordre de grandeur en dBA)	
Tous véhicules	Véhicules lourds	Moyen	Fourchette *
50	5-10	51	49-60
100	10-20	53	49-62
150	15-30	55	51-64
200	20-40	56	51-65
250	25-50	58	52-67
300	30-60	59	53-69
400	40-80	61	55-71
500	50-100	63	57-73
750	75-150	67	61-75
1 000	100-200	69	64-77

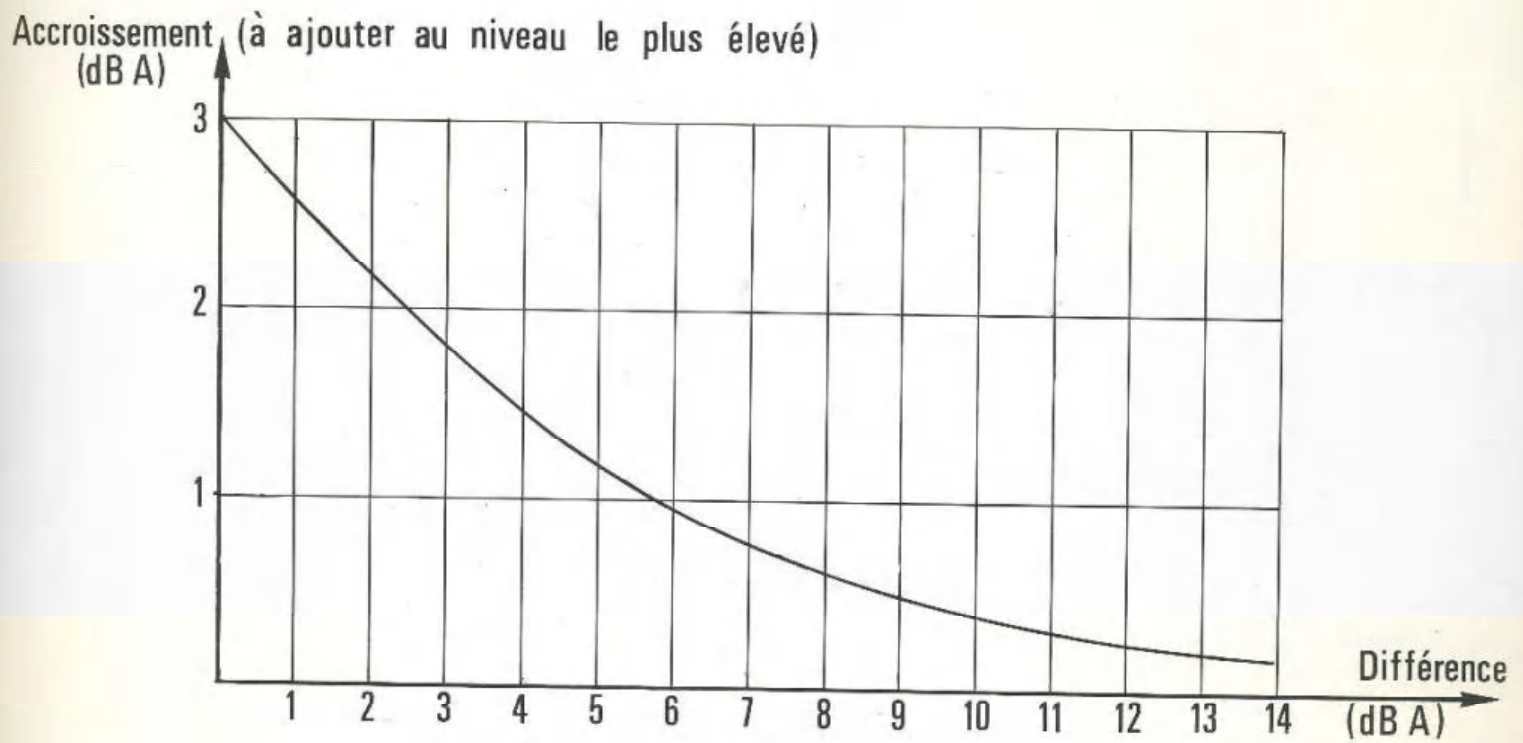
* Pendant 10 à 90 % du temps.

Source : les transports collectifs et la ville (éditions Celse)



Pondération du type A

Fig 13.2



Combinaison de niveaux de bruit

Fig 13.3

NIVEAU MOYEN DE BRUIT AUX ABORDS DES VOIES ROUTIERES

	Le jour	La nuit
Autoroutes.....	83 dBA	75 dBA
Routes à grande circulation.....	76 dBA	68 dBA
Voies de distribution, itinéraires d'autobus.....	72 dBA	57 dBA
Voies de desserte.....	69 dBA	54 dBA

L'affaiblissement des bruits entre façades et intérieurs d'immeuble est indiqué dans le tableau ci-dessous.

QUELQUES ISOLATIONS ACOUSTIQUES DE FACADE

(pour un spectre de bruit routier)

Fenêtres ordinaires ouvertes.....	7 dBA
Fenêtres ordinaires entrebaillées.....	12 dBA
Fenêtres ordinaires fermées.....	22 dBA
Fenêtres ordinaires fermées et calfeutrées.....	27 dBA
Vitrages scellés simple épais (au moins 8 mm).....	30 dBA
Vitrages scellés doubles, écartés de 5 cm.....	37 dBA
Cloison, mur-rideau ou mur léger (150 kg/m ²).....	40 dBA
Mur aveugle lourd (plus de 300 kg/m ²).....	50 dBA

La juxtaposition des chiffres fournis par ces différents tableaux montre clairement que les habitants des immeubles d'habitation bordant les voies fréquentées subissent à longueur d'année des niveaux de bruit dépassant le seuil de gêne.

b/ Le spectre

Les bruits sont d'autant plus désagréables, à intensité donnée, qu'ils comportent des pics de fréquence, surtout dans les aigus (cas des réacteurs d'avion).

c/ La durée

Les valeurs précédemment indiquées sont des niveaux médians, L 50, niveaux atteints ou dépassés pendant 50 % du temps. Le niveau médian convient pour mesurer un bruit variable en intensité mais continu, tel que celui provoqué par la circulation automobile sur une autoroute. Pour un bruit discontinu, on utilise un indice différent, le niveau de bruit équivalent Leq. (1)

Il se rattache à l'énergie acoustique globale en la repérant par le niveau sonore constant qui aurait des effets équivalents. $Leq = 10 \log \sum f_i L_i$, f_i fraction

(1) Norme internationale 150 R 31010

de la durée d'observation pendant laquelle le niveau sonore est L_i à $\pm 2,5$ dBA.

d/ L'effet de surprise

Le caractère soudain de l'émission d'un bruit intense est une gêne supplémentaire. Les vitesses pratiquées en transport urbain impliquent une montée régulière du niveau sonore et ne peuvent donc provoquer aucune aggravation de la gêne ressentie par effet de surprise.

1.3.3.3.3. - Gêne admissible provoquée par les transports publics urbains

Il n'existe pas actuellement de normes de bruit en milieu urbain ; le bruit produit par les véhicules automobiles fait l'objet d'une réglementation ; le tableau ci-dessous indique les limites admises, avec une tolérance de 1 dBA, à 7,50 m en accélération à 50 km/h.

BRUIT MAXIMAL ADMISSIBLE (en dBA)

TYPE DE VEHICULE	Niveau maximal (dBA)
Cyclomoteurs	73
Vélocycleurs et assimilés	80
Voitures particulières et dérivés	82
Motocyclettes et motoculteurs	84
Utilitaires légers (moins de 3,5 t de P.T.A.C)	84
Utilitaires lourds (plus de 3,5 t de P.T.A.C)	89
Véhicules de grande puissance (plus de 200 ch)	91

On constate que 90 % des véhicules en circulation satisfont à ces normes et qu'à vitesse constante, les niveaux de bruit sont inférieurs de 10 dBA environ aux valeurs en accélération.

Pour les autobus, des niveaux de bruit variant de 80 à 90 dBA à 7,50 m, entraînent des niveaux de 55 à 65 dBA dans des pièces en façade à 15 m, fenêtres ordinaires fermées. De telles valeurs sont admissibles de jour ; en fait, les autobus n'apportent aucune gêne supplémentaire appréciable dans la journée sur des artères à circulation intense ou moyenne. Par contre, en soirée, lorsque la circulation est relativement apaisée et dans des rues relativement étroites, des niveaux de 80 - 90 dBA, même produits de façon intermittente, sont tolérés s'il s'agit d'un moyen de transport existant comme l'autobus, qu'il est d'ailleurs possible de perfectionner, mais ils sont inadmissibles pour un système nouveau.

Pour déterminer le bruit admissible, on admettra qu'en soirée le niveau de bruit équivalent dans une pièce, fenêtres ordinaires fermées, façade à 15 m du véhicule, ne doit pas dépasser 30 dBA, c'est à dire le seuil de gêne dans le silence nocturne.

Avec une fréquence de passage de 12 véhicules par heure, soit un véhicule toutes les dix minutes par sens, ce qui correspond à une fréquence normale d'heure creuse et une durée moyenne d'émission de bruit de 10 secondes, 30 Leq équivaut à 45 dBA.

Pour ne pas dépasser ce seuil de 45 dBA, le niveau sonore du véhicule ne doit donc pas dépasser 67 dBA à 15 m (compte tenu de l'affaiblissement de 22 dBA obtenu avec une fenêtre fermée), soit 70 dBA à 7,50 m.

Cet objectif ne peut être atteint à court terme pour les autobus par amélioration de l'insonorisation des moteurs. Il présente par contre l'intérêt d'indiquer une valeur maximale d'émission de bruit, utilisable dans la recherche de solutions nouvelles, pour un système guidé propulsé par moteur électrique.

1.3.3.4. - Effet de coupure

La dernière nuisance que peut provoquer dans une ville le réseau de transport est l'effet de coupure. Deux côtés d'une avenue peuvent être à peu près complètement coupés l'un de l'autre par une autoroute, une voie rapide ou un transport en commun en site propre. Même s'il subsiste une passerelle de loin en loin cette coupure est néfaste à la vie urbaine.

Le transport public doit être organisé de façon à ne pas créer ni renforcer sensiblement l'effet de coupure : pas de site propre intégral au niveau du sol sur une grande longueur et, en cas de site propre partiel aménagement de traversées en sécurité et fréquence modérée des passages.

1.3.4. - POINT DE VUE GENERAL DU CITADIN

1.3.4.1. - Différentes préoccupations

Considéré en tant qu'habitant de la ville non utilisateur des transports publics et non directement concerné par les nuisances, le citoyen a, vis-à-vis de l'instrument "transport urbain" des préoccupations qui sont principalement d'ordre financier. Ces préoccupations s'appliquent tant aux investissements qu'au fonctionnement du service. Elles prennent deux aspects : celui du montant des dépenses et celui de la répartition de ces dépenses.

Les modalités de répartition des charges de transport entre agents économiques et la politique de subvention des investissements sont des facteurs décisifs dans la mise en oeuvre d'une politique d'urbanisme. Mais ces facteurs sont logiquement la conséquence d'une certaine stratégie, ils doivent s'en déduire et non l'orienter. Ils ne sont donc pas des éléments d'une définition d'un système de transport et ne sont donc pas abordés ici.

Par contre, l'intérêt évident de minimiser les dépenses quelles que soient les clés de répartition, a, pour la recherche d'une solution, des conséquences importantes.

1.3.4.2. - Aspect "Investissement"

Il a été souligné dans le premier chapitre combien les projets de réalisation des infrastructures lourdes pouvaient se heurter à des résistances.

Il semble de plus en plus difficile de faire accepter à une population des dépenses importantes qui donnent l'impression de devoir bénéficier à une faible proportion d'entre elle, après un délai de plusieurs années.

Cette observation converge avec celles que peut faire le planificateur sur la crédibilité des projets trop ambitieux et sur la nécessité de prévoir des solutions flexibles pour inciter à exclure dans la mesure du possible les ouvrages importants donc à rechercher une utilisation maximale des infrastructures existantes, c'est-à-dire de la voirie et d'une façon plus générale du "niveau zéro", du niveau du sol.

1.3.4.3. - Aspect "fonctionnement"

Les normes qui ont été indiquées précédemment concernant l'extension spatiale du réseau, la zone d'influence des stations, l'extension du service assuré dans la journée, les fréquences et le confort, conduisent à un coût annuel de la desserte des zones à faible trafic qui n'est pas lié au nombre de voyageurs transportés, mais seulement à la superficie desservie. Il en résulte que le coût d'un service de transport urbain classique est prohibitif dans les zones à faible densité. Pour fixer les idées, on peut dire que la rentabilité d'une desserte est vraiment compromise lorsque la densité d'habitants est de l'ordre de 60 habitants à l'hectare ou en-dessous.

Il n'y a pas de solution technique à ce problème. Comme indiqué au début du chapitre, le système de transport public ayant les avantages de l'automobile, n'existe pas. Les méthodes d'exploitation différentes des méthodes classiques n'apportent pas non plus de solution ; les taxis, taxis collectifs et autobus à la demande sont des procédés de dépannage trop coûteux pour être considérés comme des instruments prépondérants d'un système de transport public. S'ils peuvent rendre des services, leur rôle ne peut être que subsidiaire.

Le coût global d'un système de transport urbain assurant une qualité de service donnée, augmente donc très vite lorsque l'importance des zones d'habitat dispersé s'accroît. Il n'est pas possible de faire supporter la totalité des dépenses aux bénéficiaires et par conséquent le supplément de charge qui en résulte est supporté par la collectivité.

L'intérêt du citoyen en général - une fois admis que la ville doit disposer d'un service public de transport urbain, question traitée par ailleurs - est que le coût de ce service soit modéré. La conception du réseau doit donc favoriser un type d'urbanisation qui permet au transport urbain de jouer son rôle économique (extension suivant certains axes plutôt qu'en surface, non éparpillement des secteurs d'activité).

CHAPITRE 2.1. - CONFIGURATION DU RESEAU

2.1.1. - GENERALITES

Les développements de la première partie de l'étude se résument à l'idée d'une organisation des déplacements faisant jouer au système de transport public un rôle important, équilibrant celui de la voiture particulière, et à la définition de critères pour la réalisation et le fonctionnement du réseau de transport public susceptible de jouer ce rôle. Mais comment réaliser concrètement ce réseau ? Quelles solutions techniques adopter ? C'est à ces questions que la seconde partie de l'étude doit proposer une réponse.

Il pouvait être envisagé d'entreprendre une étude exhaustive des solutions qui pourraient être apportées au problème et de sélectionner la meilleure ; mais d'une part la notion même de "meilleure solution" n'a peut-être pas de sens si l'on intègre pas des facteurs de politique générale étrangers à cette étude ; d'autre part, des recherches exhaustives arrivent à durer longtemps (plusieurs années pour celle de San Fransisco), ce qui est un peu contradictoire avec la volonté de commencer à résoudre le problème dans un délai relativement court.

L'option technique proposée résulte donc d'un choix. Mais il s'agit d'un choix motivé, expliqué par une analyse qui paraîtra peut-être succincte mais qui s'appuie sur des considérants clairement exprimés. Ce choix n'est valable que pour le type de ville examiné dans la première partie de l'étude et toute généralisation ou extrapolation des résultats présentés à d'autres cas doit être exclue.

2.1.2. - LE CHOIX DU SITE PROPRE AU SOL

2.1.2.1. - Typologie des lignes de transport public

Comme il a été dit au chapitre 1.3., le transport public est lié à la notion de lignes et de points fixes d'arrêt. Les deux principales caractéristiques d'une ligne, sont la situation de la piste de circulation par rapport à la circulation générale et le type de véhicule utilisé. Les choix concernant la situation de la piste de circulation des différentes lignes déterminent la configuration du réseau et son mode de fonctionnement. Cette piste peut être :

a/ en voie banalisée : les véhicules de transport public sont mêlés à la circulation générale

b/ en voie réservée : les véhicules circulent dans la voirie mais sur une piste en principe interdite à la circulation générale ; on désigne ci-après par l'expression "voie réservée" tout tronçon de ligne bénéficiant d'une séparation relative c'est-à-dire possédant l'une au moins des propriétés suivantes :

- *franchissable*, la délimitation étant une simple signalisation au sol ou une séparation matérielle facilement franchissable par les roues des véhicules,
- *discontinue*, étant interrompue non seulement aux carrefours mais partout où se présentent des difficultés d'insertion,
- *non permanente*, limitée à certaines heures,
- *non exclusive*, c'est-à-dire utilisable en temps normal par d'autres véhicules que ceux de transport collectif (taxis, ambulances, etc...)

c/ en site propre au sol : la plateforme est au niveau des autres circulations mais séparée d'elles par un obstacle continu et difficilement franchissable par les véhicules, (interrompue seulement aux carrefours où les véhicules de transport public sont prioritaires). La plateforme est exclusivement et en permanence réservée aux véhicules de transport collectif : il y a partage de la surface circulaire.

d/ en site propre intégral ; la plateforme est privative et séparée totalement des autres circulations ; en zone où la voirie est dense (cas général du milieu urbain), elle est entièrement à un niveau second, soit en souterrain, soit en surélévation.

Comme pour toutes classifications, les définitions précédentes comportent une part d'arbitraire ; la distinction entre voie réservée et site propre au sol peut apparaître en certains cas artificielle. Elle ne se justifie que par référence aux réseaux existants.

La voie réservée est la solution naturelle associée à un réseau homogène de lignes d'autobus en voie banalisée : sur les tronçons où les conditions de circulation du transport public sont particulièrement difficiles, des réservations sont faites pour pallier, dans une certaine mesure, aux inconvénients constatés. Les caractéristiques principales de ces dispositions sont une économie relative, la progressivité de réalisation et la souplesse. La voie réservée est le domaine de l'aménagement progressif.

Le site propre au sol peut être l'ultime aboutissement de l'aménagement progressif d'un tronçon de ligne ; il est plus normalement un parti d'aménagement lié à un réseau hiérarchisé comportant deux niveaux d'axes de transport : des axes secondaires qui assurent la desserte des zones à faible émission de trafic et des axes principaux de capacité plus importante qui desservent les zones à forte émission et collectent les flux de voyageurs apportés par les axes secondaires. Les lignes en site propre au sol constituent les axes principaux du réseau de transport public ; sur les tronçons où l'aménagement de ce site propre au sol est impossible pour des raisons d'insertion géométrique, la ligne est alors en site propre intégral. Le site propre au sol est donc normalement associé au site propre intégral pour constituer l'ossature du réseau de transport. La conception du réseau de transport public est déterminée par le choix des types de lignes et se résume aux trois options suivantes :

- les lignes sont toutes en voie banalisée ou en voie réservée : le réseau est homogène,

- certaines lignes sont en site propre intégral,
- certaines lignes sont en site propre au sol avec des tronçons en site propre intégral lorsque l'insertion au sol est impossible.

2.1.2.2. - Réseau homogène de lignes en voirie

Les avantages principaux d'un réseau homogène de lignes en voiries sont l'économie d'investissement et l'adaptabilité. La réalisation progressive de voies réservées sur un tel réseau permet dans un premier temps d'enrayer le processus de dégradation des conditions de circulation des autobus, et dans un second temps d'apporter une amélioration de leur vitesse et de leur régularité. Néanmoins leur efficacité est limitée du fait de la difficulté d'obtenir un respect des réservations par les automobilistes et par les livreurs et du fait des caractéristiques débit-vitesse des voies réservées.

La multiplication des voies réservées est-elle une solution adaptée à une extension importante du rôle des transports urbains dans une métropole régionale ? S'il s'agissait d'une amélioration limitée, pour obtenir une augmentation de la fréquentation jusqu'à 50 %, pour fixer les idées, la réponse ne ferait probablement aucun doute. Pour doubler cette fréquentation dans des conditions économiques acceptables, la réponse paraît moins évidente.

Au surplus, la souplesse d'une telle solution a pour contre partie l'absence d'effet structurant : elle n'a pas d'effet bien défini sur l'évolution de l'urbanisation. Elle n'est pas examinée dans cette étude.

2.1.2.3. - Les lignes en site propre intégral

L'effet structurant des lignes de métro n'est pas à démontrer. Le principal inconvénient des lignes en site propre intégral est le coût élevé de l'infrastructure, car elles ne peuvent constituer une véritable ossature du réseau que si elles sont réalisées en assez grande quantité. La construction des ouvrages d'un réseau de métro d'une certaine extension est une charge financière très élevée pour une métropole régionale, disproportionnée aux trafics envisagés sur les lignes.

Cet obstacle financier est connu depuis longtemps. C'est pourquoi certaines recherches entreprises depuis une vingtaine d'années dans le domaine des transports urbains ont eu pour objectif prioritaire de diminuer l'investissement initial, en conservant toutefois les avantages du site propre intégral.

Cette contrainte fondamentale nécessite la construction de viaducs ou de souterrains sur la totalité de la longueur des lignes.

Pour réduire le coût de ces infrastructures, on dispose de deux moyens :

- diminuer les dimensions transversales des véhicules
- substituer les viaducs aux tunnels.

Cependant les économies réalisables par ces deux moyens sont limitées.

Le coût élevé des souterrains urbains est dû essentiellement à ce qu'on peut appeler le "coût d'insertion". Ce qui coûte cher, c'est de construire un tunnel dans une urbanisation dense, dans un environnement encombré, où il est nécessaire de prendre des dispositions pour le maintien de la vie urbaine et la protection des des immeubles et installations diverses.

Le coût d'un souterrain urbain est donc aussi différent de celui du même ouvrage construit en site vierge que le coût d'un prototype peut l'être d'un matériel de grande série. Si la largeur de l'ouvrage en voie courante est réduite de 7 m à 6 m par exemple, le coût diminue de 5 à 10 % suivant les cas, mais l'ordre de grandeur de l'investissement n'est pas changé, d'autant que les autres ouvrages de génie civil (accès aux stations, puits de ventilation) restent les mêmes.

Substituer un viaduc à un tunnel peut, dans certaines circonstances, permettre des économies substantielles. Mais les exigences croissantes en matière d'environnement conduisent à poser à cette substitution des conditions assez restrictives. Pour ne pas faire supporter aux riverains perte de luminosité, encombrement de l'espace aérien, intrusion visuelle et bruit, il est nécessaire de disposer de larges percées. Une diminution des dimensions ou du poids des véhicules ne modifie pas sensiblement la plupart des nuisances, notamment l'intrusion visuelle.

Par conséquent, l'installation de viaduc pour le transport public n'est pas une solution généralisable.

Les solutions que l'on peut attendre de telles recherches ne sont donc pas des moyens intermédiaires entre le métro et l'autobus, car le coût de leur infrastructure sera plus voisin de celui du métro que de celui de l'autobus. Elles permettront peut-être un meilleur niveau de service que les métros existants, mais certainement pas une économie substantielle dans le coût de l'établissement.

Quant au bilan d'exploitation, il n'est pas évident que les économies réalisées grâce à l'automatisation de la conduite des véhicules soient suffisantes pour modifier les résultats financiers globaux incluant les investissements.

Il n'a donc pas paru nécessaire d'étudier une solution axée sur un réseau de métro classique ou nouveau. Les programmes de réalisation devraient être tellement étalés, pour des raisons financières, que l'efficacité en serait réduite. Les coûts seraient jugés inacceptables par les non bénéficiaires, c'est-à-dire, compte tenu de la lenteur des réalisations, par l'immense majorité.

2.1.2.4. - Création d'un réseau d'axes en site propre au sol

Tant que les modalités d'utilisation de la voirie étaient considérées comme intangibles, que le transport public de surface devait être mêlé à la circulation générale, il n'y avait pas d'autres solutions que celles qui ont été examinées ci-dessus (lignes en voirie ou en site propre intégral).

Mais, depuis la création des premières pistes réservées pour autobus, l'évolution des idées est telle que de nouvelles modalités d'exploitation de la voirie peuvent être envisagées. Il devient possible de fonder l'organisation des déplacements dans la ville sur un partage systématique de l'espace viaire entre circulation de véhicules particuliers et transport public, en fonction d'une hiérarchie des besoins et des possibilités offertes par les caractéristiques du réseau des rues.

Ce partage systématique du domaine de circulation a des précédents. Les rues anciennes ne comportaient pas de trottoir, mais seulement un "haut de pavé" ; le trottoir, chemin surélevé réservé à la circulation des piétons ménagé sur le côté des rues, ne s'est répandu qu'au XXe siècle ; le passage piéton, matérialisé sur la chaussée, est une création récente. De même la réglementation du stationnement est une forme de partition de l'espace viaire qui s'est généralisée il y a peu d'années, progressivement. Ces partages ont été réalisés pour améliorer l'ensemble des circulations sans en sacrifier aucune.

La conception du réseau de transport public qui apparaît réalisable aujourd'hui dans une métropole régionale correspond à une nouvelle étape de l'organisation des déplacements dans la ville. C'est cette conception qui est proposée dans cette étude.

Comme pour les plus grandes villes disposant d'un métro, le réseau comprend au minimum deux niveaux d'axes :

- les axes secondaires de rabattement, sur lesquels les véhicules circulent en voie banalisée,
- les axes principaux constituant un véritable réseau primaire de "freeway" pour transports publics.

Les axes principaux, en nombre restreint, sont placés *systématiquement au niveau du sol* dans la voirie existante sur une plateforme matérialisée. Les seules zones de conflit avec la circulation générale sont les carrefours, qui sont traités de façon à donner la priorité au transport public. La plateforme n'est placée à un niveau second que dans deux cas :

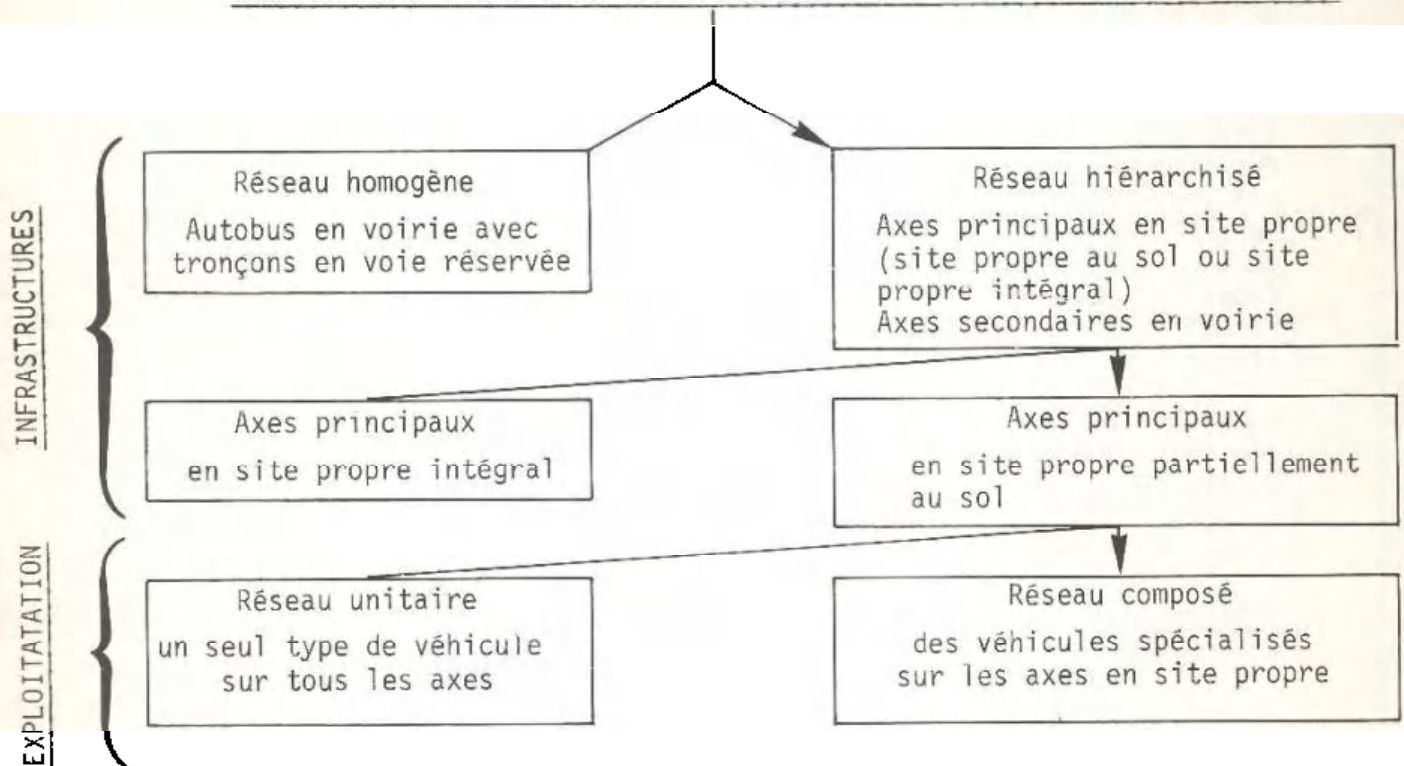
- dans le centre urbain dense, aux rues trop étroites et tortueuses où les véhicules seraient ralentis et gêneraient la circulation des piétons,
- en périphérie au croisement avec des voies routières à débit important ; dans ce cas, ce peut être la voie routière qui est dénivelée à l'intersection.

La texture générale du réseau telle qu'elle est esquissée ci-dessus, répond aux principaux critères généraux énumérés précédemment :

- une telle solution est opérante à court terme,
- elle permet de réaliser un service satisfaisant pour la vitesse et la régularité, et d'envisager une véritable mutation pour le service de transport urbain,
- elle est suffisamment flexible pour ne pas hypothéquer l'avenir lointain,
- elle conduit à des charges d'investissement modérées,
- elle matérialise les axes forts du réseau de transport et peut donc avoir un certain effet structurant.

En contrepartie, l'affectation exclusive au transport public d'une partie du domaine affecté à la circulation générale, est une remise en cause de l'organisation des déplacements assez fondamentale. Indépendamment des oppositions de principe qu'elle doit normalement susciter du fait des "pesanteurs sociologiques", elle oblige à examiner un certain nombre de problèmes.

RECAPITULATION DES CHOIX SUCCESSIFS CONCERNANT LE RESEAU DE TRANSPORT



Il est certain que le choix proposé demanderait, dans un cas concret, à être confronté avec d'autres types de solutions, d'autres politiques de développement des transports urbains.

2.1.3. - CHOIX DU VEHICULE

2.1.3.1. - Options préalables concernant les véhicules

L'objet de la planification des transports étudiés ici, est de définir les modalités d'une action pouvant commencer à s'appliquer à court terme (3 à 5 ans) dans une ville déterminée et qui se traduise dans l'immédiat par l'établissement de projets d'aménagement définis et évalués avec une certaine précision ; cette planification doit donc s'appuyer sur des certitudes sur le plan technique et sur des évaluations précises.

Il est par conséquent indispensable de pouvoir se référer à un système opérationnel à très court terme, c'est-à-dire un système qui exclue toute recherche dont le délai d'aboutissement serait indéterminé.

Cette exigence n'implique pas une attitude négative vis à vis de l'innovation. La prise en compte de l'innovation conduit à rechercher des dispositions suffisamment évolutives pour permettre d'utiliser, le moment venu, les résultats des études et expérimentations en cours dans le domaine des transports urbains. En particulier, le système étudié peut comporter, dans la partie centrale des lignes, des tronçons en site propre intégral, c'est-à-dire sans croisement à niveau. Il est possible de placer ces lignes en site propre intégral progressivement sur toute leur longueur au fur et à mesure des nécessités et des possibilités financières. Or sur une ligne en site propre intégral, d'autres moyens de sustentation, de guidage, de propulsion et d'autres méthodes d'exploitation peuvent s'avérer plus performants que ceux qui auront été choisis avant tout pour des raisons de compatibilité avec la circulation routière, dans la phase initiale.

La condition d'opérationnalité ne signifie pas non plus que le matériel soit choisi sur catalogue. Elle implique seulement de garder à l'esprit trois types de préoccupations :

- les composants doivent être déjà utilisés en exploitation,
- le système dans son ensemble ne doit apporter que des modifications limitées à celles qui sont déjà utilisées,
- l'exploitation ne doit pas nécessiter de la part des voyageurs des changements de comportement notables et des qualités, d'agilité par exemple, supérieures à celles qui sont habituellement nécessaires dans les transports de masse.

Remarquons que les deux conditions compatibilité avec la circulation routière et opérationnalité ont pour première conséquence d'imposer un personnel de conduite sur chaque véhicule. En effet, il n'existe pas encore d'automatismes permettant de détecter sur la piste d'autres obstacles que le véhicule de même type et d'apprécier la conduite à tenir en pareil cas ; la présence d'un conducteur apparaît donc indispensable, même pour le véhicule guidé.

2.1.3.2. - Comparaison sommaire des véhicules opérationnels

Dans l'état actuel de la technique, les trois moyens de transport opérationnels susceptibles d'être utilisés sur un site propre au sol sont :

- l'autobus
- le trolleybus
- le tramway.

Le choix du type de véhicule sur les axes principaux en site propre au sol est un problème dans lequel interviennent un grand nombre de critères et par conséquent la solution n'est évidente que si l'on accepte de privilégier certains d'entre eux. Des considérations de natures différentes interviennent dans les choix.

Nous avons récapitulé, dans le tableau ci-après, un certain nombre de critères d'appréciation, en classant les trois types de véhicules par rapport à chacun de ces critères. Puisque la comparaison se situe dans l'hypothèse d'un réseau composé (un réseau unitaire ne pose pas de problème de choix du véhicule), il n'est pas fait mention de l'aptitude du véhicule routier de quitter la plateforme en site propre. Pour ce véhicule, la comparaison n'a de valeur que dans le cadre limité où on s'est placé.

		CRITERE	N°	CLASSEMENT		
				Autobus	Trolley	Tramway
Investissement		Largeur d'emprise	1	2	2	1
		Coût du matériel	2	1	2	3
		Ventilation en souterrain	3	3	1	1
Qualité de Service		Vitesse	4	3	2	1
		Fréquence de passage	5	1	1	3
		Douceur de roulement	6	2	2	1
		Sécurité	7	3	2	1
Nuisances		Emission sonore	8	3	1	2
		Pollution atmosphérique	9	3	1	1
		Esthétique - ligne aérienne	10	1	3	2
Exploitation		Dépenses d'exploitation	11	3	2	1
		Circulation en unités multiples	12	2	2	1
		Facilité de régulation	13	3	1	1
		Urbanisme				
		Effet structurant	14	3	2	1
Classement des moyens de transport urbain suivant les critères						

Ce classement appelle les commentaires suivants :

CRITERE 1 : Largeur de l'emprise

L'avantage du système guidé sur l'autobus et le trolleybus est de permettre une emprise plus étroite pour une largeur de matériel donnée et de permettre également, sans diminuer la capacité, d'utiliser un matériel plus étroit que le véhicule routier standard (de 2,50 m). L'insertion de la plateforme en site urbain est facilitée.

CRITERE 2 : Coût du matériel

Le coût d'investissement en matériel roulant par place offerte est plus élevé pour un trolleybus que pour l'autobus, et plus élevé pour le tramway que pour le trolleybus. Les deux principaux facteurs qui expliquent cette différence sont les suivants :

- l'importance des séries : beaucoup d'organes des autobus (moteur, pont AR, pneumatiques, boîte de vitesse etc...) sont communs aux autobus urbains, aux autocars et aux camions et sont donc construits en grande série ; pour ce qui est de l'autobus urbain lui-même, l'importance des séries est très supérieure à ce qui est envisageable pour un tramway. Le trolleybus ayant des organes communs à l'autobus et d'autres (équipements électriques) de même nature que ceux du tramway, est intermédiaire,

- la plus grande fiabilité : du fait de la répercussion sur tout le système d'une défaillance d'un seul élément, la fiabilité exigée pour les organes d'un système guidé est plus grande que celle des organes d'un autobus.

Ce coût d'investissement plus élevé du tramway est en partie compensé par une plus grande robustesse des éléments principaux, donc une durée d'amortissement plus longue, de l'ordre de 20 - 30 ans pour les matériels existants au lieu de 8 à 13 ans pour l'autobus et 10 à 16 ans pour le trolleybus.

CRITERE 3 : Ventilation en souterrain

Pour les tronçons souterrains à prévoir en centre ville, il faut, dans le cas de l'autobus, outre une surlargeur, des installations de ventilation mécaniques pour l'extraction des gaz d'échappement.

CRITERE 4 : Vitesse

L'avantage du moteur électrique sur le moteur à combustion interne, est de ne pas nécessiter de changement de rapport de réduction dans la phase d'accélération, ce qui permet, pour des normes de confort données, une montée en vitesse plus rapide. Les véhicules routiers sont moins performants que les véhicules guidés car les conducteurs ont tendance à ralentir lorsqu'ils croisent un autre véhicule.

CRITERE 5 : Fréquence

De capacité normalement plus faible, le véhicule routier a une fréquence de passage plus grande aux heures creuses.

CRITERE 6 : Douceur de roulement

Sur un site propre, il est très difficile de conserver une bonne qualité du revêtement routier car, les roues passant toujours au même endroit, il se produit un effet d'ornièrre. Par contre, une voie ferrée correctement posée, peut être maintenue en bon état très longtemps lorsque les charges par essieux sont modérées (exemple du tramway restaurant de Dusseldorf).

CRITERE 7 : Sécurité

La sécurité peut être mieux assurée pour un système guidé. Il n'y a pas de risque de heurt entre véhicules se croisant : il est possible de pallier les défaillances du conducteur par un système de veille automatique ou d'arrêt automatique en cas de franchissement de feux. Le moteur thermique (carburant) et les pneumatiques sont des facteurs aggravants en cas d'incendie.

CRITERE 8 : Emission sonore

Le moteur électrique est à peu près complètement silencieux. Le roulement ferroviaire classique est, même avec les perfectionnements modernes, plus bruyant que le roulement sur pneumatiques.

CRITERE 9 - Pollution atmosphérique

L'absence de pollution du moteur électrique (ainsi que son silence), ont comme contre partie, un coût plus élevé d'investissement.

CRITERE 10 : usabilité

Le trolleybus exige une ligne bi-filiaire avec isolateurs, le tramway une ligne unifiliaire. Les autres modes de captage ou de stockage d'énergie électrique n'étant pas opérationnels, c'est une sujétion inévitable. A remarquer que le trolley simple ou régularisé est plus discret que la caténaire classique.

CRITERE 11 : Économie d'énergie

La traction électrique est plus économique pour deux raisons :

- coût de l'énergie : il est de l'ordre de la moitié de celui du moteur thermique ; cependant les carburants supportent une taxe spécifique que les combustibles nécessaires pour produire l'énergie électrique ne paient pas.
- coût d'entretien : plus réduit pour les équipements électriques que pour le moteur thermique et plus réduit pour le véhicule guidé que pour le véhicule routier (contrepartie du coût d'investissement plus élevé).

CRITERE 12 : Capacité de transport

Pour le tramway, la possibilité de faire circuler des rames de la capacité souhaitée, de découpler aux heures creuses, permet de diminuer le nombre de conducteurs nécessaires aux heures de pointe, dès que le trafic atteint une certaine valeur. Pour les trafics élevés, le gain en personnel de conduite est effectif même aux heures creuses.

CRITERE 13 : Facilité de régulation :

La liaison matérielle avec le sol permet d'utiliser les procédés de régulation du métro : poste de commande centralisé etc... Le tramway, du fait de l'espacement des véhicules, résorbe mieux les retards accidentels et les fluctuations de trafic. En outre, il impose un meilleur respect de sa priorité aux carrefours car il ne dévie pas de sa voie et constitue une masse plus imposante.

CRITERE 14 : Effet structurant

Les installations fixes d'une ligne d'un véhicule guidé sont plus "personnalisées" que pour l'autobus : système de roulement et de guidage, ligne d'alimentation en énergie électrique s'ajoutent aux installations communes aux différents systèmes. De plus, les installations de télécommunications et de sécurité y sont normalement plus développées. Il en résulte un caractère de plus grande permanence de la ligne, favorisant l'organisation de l'habitat et des activités en fonction des dessertes assurées.

Ces principaux facteurs influant sur les décisions sont les suivants :

a/ le prix que l'on accepte de payer pour substituer la traction électrique à la traction par moteur à combustion interne : investissement plus lourd et présence d'un trolley pour le captage de l'énergie électrique comme contrepartie de l'absence de bruit et de pollution et une réduction des dépenses d'énergie et d'entretien. La différence de coût entre trolleybus et autobus de même capacité explique bien cette différence.

b/ L'importance que l'on attache à la diminution du nombre de ruptures de charge imposées aux voyageurs. Ces ruptures de charge pouvant se faire à niveau avec parcours de quelques mètres et correspondance des horaires, le temps perdu est faible (de l'ordre de la minute) mais, il subsiste le dérangement causé par le changement de véhicule. Si on privilégie la notion de parcours direct, l'autobus s'impose.

c/ La gêne que l'on peut ressentir devant la perspective d'un retour à un moyen de transport, le tramway, qui a été éliminé de la plupart des villes. Le fait qu'il ne s'agit ni du même véhicule ni des mêmes conditions d'exploitation que par le passé, ne modifie pas sensiblement les réticences des responsables vis-à-vis du tramway. Ce sentiment peut s'exprimer par des moyens détournés, introduire des distorsions dans l'appréciation des différents facteurs (bruit, fil de contact, danger aux croisements etc...) et conduire à rechercher quelque chose de différent en minimisant l'obstacle technique (tramways à accumulateurs, prise de courant par le sol, roulement sur pneumatiques avec guidage par roulette dans une rainure etc...).

d/ Le coût global du service rendu, c'est-à-dire le prix de revient de la place X km offerte dans des conditions équivalentes de qualité de service pour chacun des moyens considérés.

Ces quatre préoccupations s'ajoutent à deux questions préalables relativement indépendantes du choix du type de véhicule.

a/ La possibilité d'insertion des sites propres au sol dans le tissu urbain ; les modalités de cette insertion et les conséquences, en particulier sur le trafic VP.

b/ Conséquences urbanistiques, sociales et économiques du choix fait pour la politique de transport urbain dans la ville de Neuchâteau.

Toutes ces questions ne sont pas indépendantes entre elles et ne peuvent être traitées avec la même précision. Le premier groupe de problèmes est plus spécialement technique. Il commande la réponse aux problèmes touchant l'insertion et l'urbanisme et doit donc être traité avant.

CHAPITRE 2. 2. - COMPARAISON ENTRE MOYENS DE TRANSPORT COLLECTIF

2.2.1. - OBJECTIFS DE L'ETUDE ECONOMIQUE

Le principe de l'utilisation d'un véhicule de transport collectif en site propre au niveau du sol sur les axes lourds de déplacements d'une ville importante a été retenu au chapitre 2.1. : une analyse qualitative des avantages et des inconvénients des différents modes (autobus, trolleybus, tramway) est présentée dans ce même chapitre (1).

Mais le choix du mode de transport à préconiser sur ces axes repose, pour une part importante, sur des éléments à caractère économique dont l'étude n'a pas encore été abordée.

L'impact économique de la mise en exploitation d'un type de véhicule quel qu'il soit se mesure en premier lieu au coût de premier établissement et aux dépenses de fonctionnement du système de transport qui l'utilise : les avantages d'un mode de transport sur un autre apparaîtront donc par comparaison entre les *dépenses d'investissement* et les *coûts d'exploitation*, avant que d'autres critères de comparaison n'entrent en jeu.

Le présent chapitre est consacré au calcul de ces dépenses et à l'examen des conséquences économiques d'un certain nombre de choix fondamentaux quant aux caractéristiques des véhicules comparés :

- leur capacité nominale : véhicule routier standard ou articulé ou tramway en éléments de capacité différente,
- leur mode de traction : la mise en évidence d'un coût de l'électrification permet de mesurer le coût de la suppression de la pollution,
- leur type de guidage : le guidage par rails donne la possibilité d'exploiter des véhicules de grande capacité, circulant avec une meilleure vitesse commerciale que les véhicules routiers sur une emprise plus étroite de la voirie : il donne également un caractère structurant plus marqué au réseau de transport en commun,
- la largeur des véhicules dans le cas du tramway,
- leur consommation d'énergie.

(1) Contrairement à l'autobus et au trolleybus qui sont des véhicules connus, le tramway nécessite une étude spéciale : ses caractéristiques sont étudiées dans l'annexe 1.

En outre, des coûts d'investissement et d'exploitation fonctions de la capacité de transport offerte sur la ligne ont été évalués, en supposant connue la répartition journalière du trafic des usagers.

Enfin ont été abordés le problème de la rentabilité de la mise en site propre des véhicules de transport en commun par rapport à une solution de couloir réservé pour des valeurs moyennes de la demande, ainsi que celui de l'intérêt du tramway en site propre au niveau du sol comparé à celui d'un métro pour des valeurs fortes du trafic de pointe, (cf. annexes n° 3 et 4).

Pour des raisons de simplification, tous ces calculs sont rapportés au cas d'une ligne type en site propre de 15 km traversant le centre ville et comportant des arrêts tous les 600 m en moyenne.

L'approche est essentiellement économique et ne comporte aucun volet financier, c'est-à-dire qu'aucun mode de financement particulier n'a été préconisé pour les investissements. L'éventail de solutions possibles est trop ouvert pour que celles-ci soient recherchées dans le cadre de cette étude. Mais il faut souligner combien les aspects financiers influent en définitive sur le choix des solutions techniques.

2.2.2. - DIFFICULTES D'APPROCHE DES CÔÛTS

L'analyse de prix de revient prévisionnels est un exercice qui apparaît, notamment pour les techniciens confrontés aux multiples fluctuations de la vie industrielle, comme une activité quelque peu artificielle. Pour chaque composant d'une dépense, il n'y a pas, même lorsque ce composant est bien défini, un seul coût mais une gamme parfois assez large. Le coût peut varier en fonction de multiples circonstances telles que, pour le domaine étudié :

a/ L'importance des séries

Que ce soit pour un matériel ou pour les pièces de rechange, il n'est pas indéfinit que le composant soit spécifique ou standardisé. En fait, il n'y a pas de coût unitaire moyen mais d'abord un coût de prototype, incorporant les études, les dépenses d'outillage, la construction d'une unité tête de série, les essais et les modifications, et ensuite un coût unitaire fonction des perspectives de production du composant considéré.

b/ La qualité recherchée

Pour un même service global, il y a des solutions plus ou moins luxueuses, plus ou moins sophistiquées : certains perfectionnements apparaissent nécessaires en cours de réalisation. Il est difficile d'éliminer complètement les considérations de prestige dans la mise en oeuvre d'un investissement, et encore plus difficile d'en prévoir l'impact au stade de l'étude de faisabilité.

c/ La conjoncture

Une fois le produit parfaitement défini, ainsi que l'importance du marché, son prix n'en est pas pour autant fixé : il peut varier suivant le niveau de la concurrence et le niveau général d'activité de la branche industrielle. Les prix d'achats de matériel ou d'équipements ne sont d'ailleurs pas seuls touchés : les

coûts de fonctionnement sont eux aussi sujets à variations de leurs composants, notamment du prix de l'énergie électrique et des carburants.

d/ La qualité de l'organisation

Qu'il s'agisse d'achat de matériel ou d'exploitation, le coût est fonction de la qualité de gestion de l'entreprise, du niveau de son organisation, de sa taille etc...

e/ Les particularités et la spécificité de chaque exploitation

Il n'est pas possible de considérer toutes les possibilités observées dans les variations horaires de trafic, ni dans les conditions de travail, toutes choses qui influent sur les coûts.

Toutes ces causes de variation ne diminuent pas l'intérêt d'une comparaison d'ensemble. Elles en montrent les limites et la façon dont on doit les interpréter : comme un guide dans les choix et non comme une prédiction.

2.2.3. - METHODOLOGIE ET BASE DES EVALUATIONS

La recherche a porté sur les dépenses d'investissement, d'exploitation et d'amortissement de la ligne type en site propre, définie au début de ce chapitre, pour différentes valeurs du trafic maximal en heure de pointe (1 500, 3 000, 6 000 et 12 000 voyageurs à l'heure dans le sens et sur le tronçon les plus chargés), l'exploitation étant réalisée avec différents types de véhicules (autobus et trolleybus simples et articulés, tramways étroits et larges avec deux valeurs de capacité).

Les prix sont donnés aux conditions économiques du 1er Janvier 1975.

Dans ce chapitre ne sont rappelés que les hypothèses fondamentales de la comparaison : tous les détails figurent aux annexes n° 2, 3 et 4.

2.2.3.1. - Coût de mise à disposition de la plateforme

Le principe de base du transport public en site propre au sol consiste en une redistribution du domaine de voirie. Le coût de cette opération est variable suivant les zones où s'insère la ligne, et la nature même des éléments de formation du coût varie.

Si l'on considère la mise à disposition de la plateforme, c'est-à-dire l'opération de dégagement du gabarit nécessaire à la circulation des véhicules et au transfert des voyageurs, à l'exclusion de toute construction de piste, voie, quai, abri etc..., les éléments de formation des coûts pourront être les suivants :

- dans une urbanisation nouvelle : achat de la bande de terrain nécessaire et travaux d'assainissement de la plateforme,
- dans les grandes voies dégagées : démolition du revêtement de chaussée et de la fondation, modification de la signalisation au sol et de la signalisation latérale,

- dans le centre urbain : outre les éléments précédents, le rescindement des bordures de trottoir, l'expropriation et la démolition de certains immeubles pour élargir les voies,
- aux limites du centre, la construction de tronçons souterrains, la construction ou l'élargissement de ponts,
- pour l'ensemble du réseau il faut tenir compte également des dépenses indirectes, c'est-à-dire du coût de mise en oeuvre d'une nouvelle organisation de la circulation, qui concerne d'autres voies que celles empruntées par le transport public.

Le coût de la mise à disposition est fonction de la largeur de plateforme. Pour les dépenses directes (acquisitions foncières, démolition de chaussée, construction d'ouvrages) il y a une relation continue entre largeur de plateforme et coût de mise à disposition. Il n'en est pas de même pour les dépenses indirectes. En zone dense, la notion de seuil intervient : il peut être nécessaire d'élargir la voie pour insérer une plateforme large alors que cet élargissement n'est pas indispensable pour une plateforme étroite.

Pour tenir compte dans l'étude économique de l'investissement lié à la mise à disposition de la plateforme, on a considéré que la dépense minimale dans le cas du véhicule nécessitant la plateforme la plus étroite, c'est-à-dire le tramway "E" (étroit), sur une ligne de 15 km de longueur comportant une forte proportion de sa longueur en zone urbaine peu dense, était voisine de 5 MF* du km. Ce montant minimal exclut tout ouvrage d'art et suppose que le réseau viaire dans le centre peut permettre, sans travaux autres que ceux de voirie, l'implantation de la plateforme sur toute la longueur de la ligne.

Dans le cas de la première tranche de la ligne n° 1 de Neuchâteau, la dépense est voisine du double de ce montant minimum. Elle se répartit de la façon suivante pour la plateforme la plus étroite :

Souterrain en tranchée couverte	0,5 km	40 MF*
Viaduc (le long de la zone industrielle)	0,8 km	12 MF*
Site propre au sol	13,7 km	68,5 MF*
Total pour 15 km		120,5 MF*

Cette ligne est supposée représentative d'un cas moyen. En outre, on a considéré que le coût moyen de mise à disposition de la plateforme croissait, par rapport à celui de la plateforme du tramway "E" (étroit), moitié moins vite que la largeur strictement nécessaire. D'où les montants pour Neuchâteau :

* MF = millions de francs

Type de véhicule	Largeur de plateforme	Dépenses totales (en millions de francs)	Dépenses au kilomètre (en millions de francs)
Tramway "E" (étroit)	5,40 m	120,5	8,03
Tramway "L" (Large)	6,00 m	127,2	8,48
Autobus et trolleybus	7,00 m	138,3	9,22

Enfin, pour tester la sensibilité des dépenses totales d'exploitation et d'amortissement au coût de génie civil, une hypothèse de coût maximal a été présentée : 15 millions de francs au kilomètre de ligne (prix moyen du viaduc). Ce prix correspond à la création de 2 kilomètres de souterrain (longueur supérieure au diamètre du centre dense d'une ville de la taille de Neuchâteau), le reste de la ligne étant au niveau du sol, ou encore, avec une ligne entièrement au niveau du sol, à la création d'une trentaine de minisoutterrains pour les véhicules particuliers circulant dans le sens transversal.

Toutes ces hypothèses se résument ainsi : (1)

	TRAMWAY ETROIT	TRAMWAY LARGE	AUTOBUS ET TROLLEYBUS
Prix minimal (2)	5	5,28	5,74
Prix Neuchâteau	8,03	8,48	9,22
Prix maximal	15	15,83	17,22

Prix au kilomètre de ligne de la mise à disposition de la plateforme
(en millions de francs)

2.2.3.2. - Prix des matériels roulants

L'autobus standard est le seul de tous les matériels pour lequel le prix soit bien connu. Construit en France à plus de 3.500 exemplaires en 10 ans, son coût d'achat correspond donc à une série déjà importante.

Aucun des autres types de véhicules ne peut prétendre à des séries comparables. On a donc évalué les coûts de ces véhicules en fonction d'une construction en série beaucoup moins importante, de l'ordre de quelques dizaines par an sur une période d'une dizaine d'années.

(1) Les prix incluent les frais généraux et les à valoir d'imprévus.

(2) Ce prix minimal peut être réduit, si l'on peut sur certains tronçons aménager la chaussée en plateforme tramway sans la reconstruire en totalité.

Les valeurs obtenues ont été comparées avec celles de matériels équivalents construits dans divers pays. Ainsi, le coût d'un trolleybus simple varie entre 150 % et 200 % de celui d'un autobus de même capacité, et le chiffre adopté correspond à 167 %.

	Nombre de places offertes	Prix unitaire (milliers de francs)
Autobus	72	240
Autobus articulé	120	450
Trolleybus	72	350
Trolleybus articulé	120	540
Tramway étroit 2 caisses sur 4 bogies	180	2 200 (1)
Tramway large 2 caisses sur 3 bogies	180	2 000 (1)
Tramway étroit 3 caisses sur 6 bogies	255	3 000 (1)
Tramway large 3 caisses sur 4 bogies	255	2 700 (1)

2.2.3.3.- Autres dépenses d'investissement

Tous les facteurs de dépenses autres que la mise à disposition de la plateforme et l'achat des matériels roulants peuvent être déterminés à partir de l'analyse des comptes d'exploitation et des opérations d'investissement des entreprises de transport existantes.

Les prix de base, qu'il s'agisse de prix unitaires ou d'une évaluation globale pour la ligne, sont explicités et complétés à l'annexe n° 2.

Le tableau ci-dessous en présente l'essentiel :

Type d'investissement	Dépenses totales
Installations électriques (hors alimentation électrique des lignes aériennes)	1 million de francs par km de ligne
Piste (solution route)	0,85 million de francs par km de chaussée double
Voie (solution rail)	1,7 million de francs par km de voie double
Alimentation en énergie de traction (trolleybus et tramway)	2 millions de francs par sous station de 2.000 kW
Lignes aériennes - trolleybus	450 000 F par km de ligne
- tramway	300 000 F par km de ligne
Dépôts et ateliers - autobus	85 000 F par emplacement
- autobus articulé	140 000 F "
- trolleybus	76 500 F "
- trolleybus articulé	126 000 F "
- tramway 180 places	200 000 F "
- tramway 255 places	250 000 F "

- (1) Des études complémentaires devraient être prochainement entreprises sur le problème spécifique du gabarit. Les prix indiqués correspondent à une première estimation.

2.2.3.4. - Hypothèses concernant l'exploitation

Un service de transport public urbain doit s'adapter à d'importantes variations horaires et journalières de la demande de transport.

Les courbes de trafic varient en fonction de la nature de la liaison assurée ; ainsi une ligne en rocade a un trafic horaire généralement mieux réparti qu'une ligne traversant le centre urbain.

Pour la comparaison économique, avec une ligne traversant le centre ville, la variation journalière du trafic adoptée correspond à des pointes horaires prononcées : 12,3% du trafic est acheminé à l'heure de pointe pour une durée du service de 21 heures. Cette répartition, retenue pour Neuchâteau, est représentative de la situation constatée dans les villes européennes de cette importance.

De même, les répartitions hebdomadaires et saisonnières du trafic sont conformes à celles observées dans les grandes villes occidentales bien desservies par les transports publics.

Pour satisfaire la demande de transport, quatre périodes d'exploitation ont été distinguées sur la durée du service :

Période A (de pointe) :	6 h - 8 h et 16 h - 19 h (durée 5 heures)
Période B :	8 h - 9 h et 12 h - 16 h (durée 5 heures)
Période C :	5 h - 6 h, 9 h - 12 h et 19 h - 21 h (durée 6 heures)
Période D :	4 h - 5 h et 21 h - 1 h (durée 5 heures)

A l'heure la plus chargée de chacune de ces périodes, le taux d'occupation des véhicules de transport collectif a été supposé égal à 80 % et l'offre de transport correspondante est maintenue pendant toute la période.

Afin de tenir compte des normes de qualité de services définies précédemment (cf chapitre 1.3.), la fréquence aux heures creuses est toujours au moins égale à 6 passages par heure et par sens. De plus, lorsque le nombre de passages à l'heure la plus chargée d'une période est inférieur ou égal à quinze, l'offre de transport est calculée pour que l'intervalle entre deux passages successifs corresponde à une fraction entière de l'heure : 4 mn, 6 mn, 7,5 mn (2 passages en 15 mn) ou 10 minutes.

Il en résulte que le nombre de places-kilomètres offertes (PKO) n'est pas le même pour tous les modes de transport. Dans le cas extrême (1 500 voyageurs par heure), le taux d'occupation moyen (rapport du nombre de voyageurs X km au nombre de places-kilomètres offertes) est de 0,27 pour l'autobus simple et de 0,17 pour le tramway de 255 places.

On notera en outre la possibilité, pour les trafics élevés, d'exploiter le tramway par éléments accouplés, ce qui réduit les dépenses de personnel de conduite.

2.2.3.5.- Vitesse commerciale

Les dépenses d'investissement en matériel roulant et les dépenses en personnel de conduite sont directement proportionnelles aux durées de rotation des véhicules, et donc à la vitesse commerciale. Or celle-ci dépend à la fois du nombre de véhicules circulant simultanément sur la ligne (gêne mutuelle aux arrêts pour les fortes fréquences) et, avec l'hypothèse d'une invariance des aménagements de la

voirie pour un mode de transport donné, des retards aux carrefours en l'absence de passages dénivelés. Ces retards sont fonction de l'importance (croissante avec le trafic), des flux de circulation dans les directions perpendiculaires au tracé de la ligne. Les conflits entre courants de circulation aux carrefours font en effet baisser la vitesse de l'ensemble des véhicules en circulation.

A partir de l'analyse de différentes expériences, lorsque les véhicules de transport en commun n'ont pas la possibilité de se dépasser normalement (ce qui exigerait une surlargeur systématique incompatible avec les conditions habituelles d'insertion d'une ligne en site urbain) on peut classer les conditions de circulation sur un site propre au sol en trois situations types :

a/ Circulation en priorité.

Pour les faibles trafics, lorsque la fréquence ne dépasse pas 25 à 30 passages par heure et par sens, il est possible d'utiliser des dispositifs de commande des feux de signalisation et d'assurer au transport public une priorité de passage efficace aux carrefours.

Dans cette situation la vitesse des véhicules dépend essentiellement de leurs performances, des tracés en plan et profil en long de la piste, de la distance entre stations et de la durée du stationnement : pour Neuchâteau, avec des arrêts distants de 600 mètres, cette vitesse est de 25 km/h pour tous les modes.

b/ Circulation fluide.

Lorsque la fréquence de passage est voisine de 100 à 120 véhicules par heure et par sens, il n'est plus possible d'accorder une priorité quelconque au transport public qui doit donc subir les mêmes attentes aux carrefours que les autres véhicules. Mais jusqu'à cette fréquence, les véhicules peuvent se succéder sans se gêner mutuellement, si les arrêts sont conçus pour recevoir deux autobus. Leur vitesse est égale à ce qu'elle serait dans une circulation générale fluide (17 à 18 km/h pour l'autobus).

c/ Saturation de la piste.

Lorsque la fréquence de passage atteint 200 véhicules par heure et par sens, le site propre est saturé. Cette saturation est provoquée par les cumuls de véhicules aux arrêts (car en l'absence d'arrêts, il est possible de les faire circuler en nombre beaucoup plus important).

La vitesse commerciale est alors voisine de celle que l'on observe dans une circulation urbaine saturée : environ 10 km/heure pour l'autobus. Dans ces conditions le site propre ne présente plus beaucoup d'intérêt puisque les conditions n'y sont guère plus favorables qu'elles pourraient l'être en voirie banalisée (quoique sur bande réservée la vitesse observée en heure de pointe ne dépasse pas, parfois, 5 à 6 km/h.)

Pour rendre compte correctement de la dégradation progressive de la vitesse commerciale, les vitesses considérées dans l'étude économique sont fonction linéaire du débit par sens, sachant que les arrêts sont aménagés pour recevoir éventuellement deux véhicules simultanément.

Les vitesses commerciales pour chaque mode de transport ont ainsi été déterminées pour chacune des périodes d'exploitation (cf annexe n° 2, tableau A2-2) en fonction de la demande de transport.

Les temps de battement aux terminus sont pris égaux à 8 % de la durée du tour, augmentés de 2 minutes, pendant toute la durée du service.

Sur ces bases, les principales données d'exploitation sont les suivantes :

	Trafic maximal (en voyageurs/heure)	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court (étroit ou large)	Tramway élément long (étroit ou large)
NOMBRE DE VEHICULES-KILOMETRES ANNUELS (ou éléments-kilomètres en millions)	1 500 v/h	2,67	1,76	2,67	1,76	1,41	1,30
	3 000 v/h	4,96	3,12	4,96	3,12	2,25	1,62
	6 000 v/h	10,06	6,07	10,06	6,07	4,12	3,01
	12 000 v/h	19,95	12,02	19,95	12,02	8,16	5,81
NOMBRE DE VEHICULES AU PARC	1 500 v/h	40	24	40	24	15	12
	3 000 v/h	86	49	86	49	31	22
	6 000 v/h	211	107	211	107	62	44
	12 000 v/h	806	283	806	283	130	88
NOMBRE D'HEURES DE CONDUITE (en milliers)	1 500 v/h	120,0	78,1	120,0	78,1	62,4	57,6
	3 000 v/h	230,9	139,9	230,9	139,9	99,5	71,8
	6 000 v/h	537,7	289,2	537,7	289,2	138,6	102,1
	12 000 v/h	1 685,9	691,1	1 685,9	691,1	196,9	138,3

Une autre approche de ce problème était concevable : celle du maintien d'une vitesse élevée pour les forts débits par un aménagement progressif de passages dénivelés aux carrefours. Mais les aléas d'une telle approche en diminuant l'intérêt : un grand nombre d'hypothèses annexes difficiles à étayer auraient dû être faites, quant au lieu d'implantation des arrêts, aux durées d'interruption du service ou aux déviations d'itinéraires pendant les travaux.

2.2.3.6. - Coûts unitaires de fonctionnement

Les sources de renseignements sur les dépenses unitaires de fonctionnement des réseaux de transport public sont principalement les comptes d'exploitation des sociétés de transport en commun de Saint-Etienne, Lyon et Marseille, la comptabilité analytique de la R.A.T.P. et l'étude "Transport en commun en site propre à aménagement progressif Lyon-Vénissieux" menée par la Société des Transports en Commun Lyonnais en 1973.

Pour certains modes de transport et certains postes de dépenses, l'absence de données a été palliée par des hypothèses précisées en annexe n° 2.

Les principales dépenses unitaires de fonctionnement sont très succinctement résumées ci-dessous. Tous les prix sont donnés aux conditions économiques du 1er Janvier 1975.

	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway court	Tramway long
Coût de l'heure de conduite	28 F	29,1 F	28 F	29,1 F	30,5 F	32,3 F
Consommation d'énergie pour la traction						
- gasole	35,5 l/100km	53 l/100 km	-	-	-	-
- électricité	-	-	2 kWh/km	3 kWh/km	4 kWh/km	5 kWh/km
Coût de l'énergie de traction	1,15 F le litre TTC		0,20 F le kWh basse tension hors TVA			
- gasole						
- électricité						
Coût de l'énergie hors traction	0,40 F le kWh basse tension hors TVA					
Coût d'entretien du matériel roulant						
- Part fixe (par véhicule)	12 000 F	15 000 F	12 000 F	15 000 F	20 000 F	25 000 F
- Part proportionnelle au trafic (par véhicule/km ou élément km)	0,70 F	0,95 F	0,63 F	0,85 F	0,90 F	1,15 F
Coût d'entretien des voies et pistes						
- Part fixe (par km de ligne)	10 000 F	10 000 F	10 000 F	10 000 F	12 000 F	12 000 F
- Part proportionnelle au trafic (par véhicule/km ou élément km)	0,024 F	0,036 F	0,024 F	0,036 F	0,072 F	0,096 F
Coût d'entretien des lignes aériennes						
- Part fixe (par km de ligne)	-	-	6 000 F	6 000 F	6 000 F	6 000 F
- Part proportionnelle au trafic (par véhicule/km ou élément km)	-	-	0,060 F	0,060 F	0,025 F	0,025 F
Dépenses d'assurances au tiers (par véhicule/km ou élément km)	0,148 F	0,194 F	0,148 F	0,194 F	0,251 F	0,323 F
Remise en état du matériel accidenté (par véhicule/km ou élément km)	0,040 F	0,052 F	0,040 F	0,052 F	0,069 F	0,087 F

2.2.4. - COMPARAISON ENTRE MODES

2.2.4.1. - Influence de la capacité

L'influence de la capacité du véhicule ou de l'élément est essentielle sur les dépenses d'exploitation. Les dépenses de personnel de conduite représentent dans deux cas limites les valeurs suivantes :

- 52 % des dépenses d'exploitation de l'autobus standard pour des trafics élevés (12 000 v/h) lorsque la vitesse commerciale est limitée aux heures de pointe par le nombre de véhicules à écouler,
- 18 % des dépenses d'exploitation du tramway de grande capacité pour le même trafic.

La figure n° 22.1 montre pour toute la gamme de trafic envisagée, les dépenses d'exploitation pour chaque type de véhicule. Du seul point de vue des dépenses d'exploitation, le tramway présente une supériorité nette sur les autres véhicules. La différence entre les deux tramways tient aux capacités différentes (capacité 180 places et capacité 255 places) mais elle est atténuée par la possibilité de circulation en unités doubles.

2.2.4.2. - Coût de l'électrification

Le coût de l'électrification, considérée comme le moyen d'éliminer les nuisances de bruit et de pollution dues au moteur thermique, est essentiellement un coût d'investissement car, à capacité égale, les dépenses d'exploitation sont voisines. Ce coût est indiqué, en fonction du trafic, dans le tableau ci-dessous tiré du tableau A2-5 (annexe n° 2)

Trafic horaire maximal	Dépense d'investissement supplémentaire au passage de la solution autobus articulé à la solution trolleybus articulé		
	Pour la ligne type de 15 km (en millions de F)	Par km de ligne (en millions de F)	en pourcentage de l'investis- sment total
1 500 voyageurs/h	12,57	0,84	6,8 %
3 000 voyageurs/h	16,47	1,10	8,3 %
6 000 voyageurs/h	26,88	1,79	11,6 %
12 000 voyageurs/h	52,26	3,48	15,5 %

On notera cependant (cf. 2.2.4.5.) que les trolleybus consomment plus d'énergie que les autobus.

2.2.4.3. - Coût du guidage sur rails

Si l'on s'en tient aux dépenses réelles, les avantages des systèmes guidés par rails sur les matériels routiers se traduisent pour des trafics de pointe supérieurs à 1 500 ou 3 000 voyageurs sur le tronçon le plus chargé, par des dépenses totales de fonctionnement et d'amortissement moins élevées et une vitesse commerciale en général plus grande, et l'économie réalisée est croissante avec le trafic. Cependant, si l'entreprise exploitante et les usagers* bénéficient de l'adoption de ce type de guidage, les dépenses d'investissement initiales sont plus lourdes. C'est à travers elles que peut apparaître le "coût du guidage sur rails".

Trafic horaire maximal	Dépense d'investissement supplémentaire au passage d'une solution sur route (trolleybus articulé) à une solution sur rails (tramway large élément long)		
	Pour la ligne type de 15 km (en millions de F)	Par km de ligne (en millions de F)	En pourcentage de l'investissement total
1 500 voyageurs/h	18,82	1,25	9,6 %
3 000 voyageurs/h	31,67	2,11	14,7 %
6 000 voyageurs/h	55,94	3,73	21,6 %
12 000 voyageurs/h	64,52	4,30	16,6 %

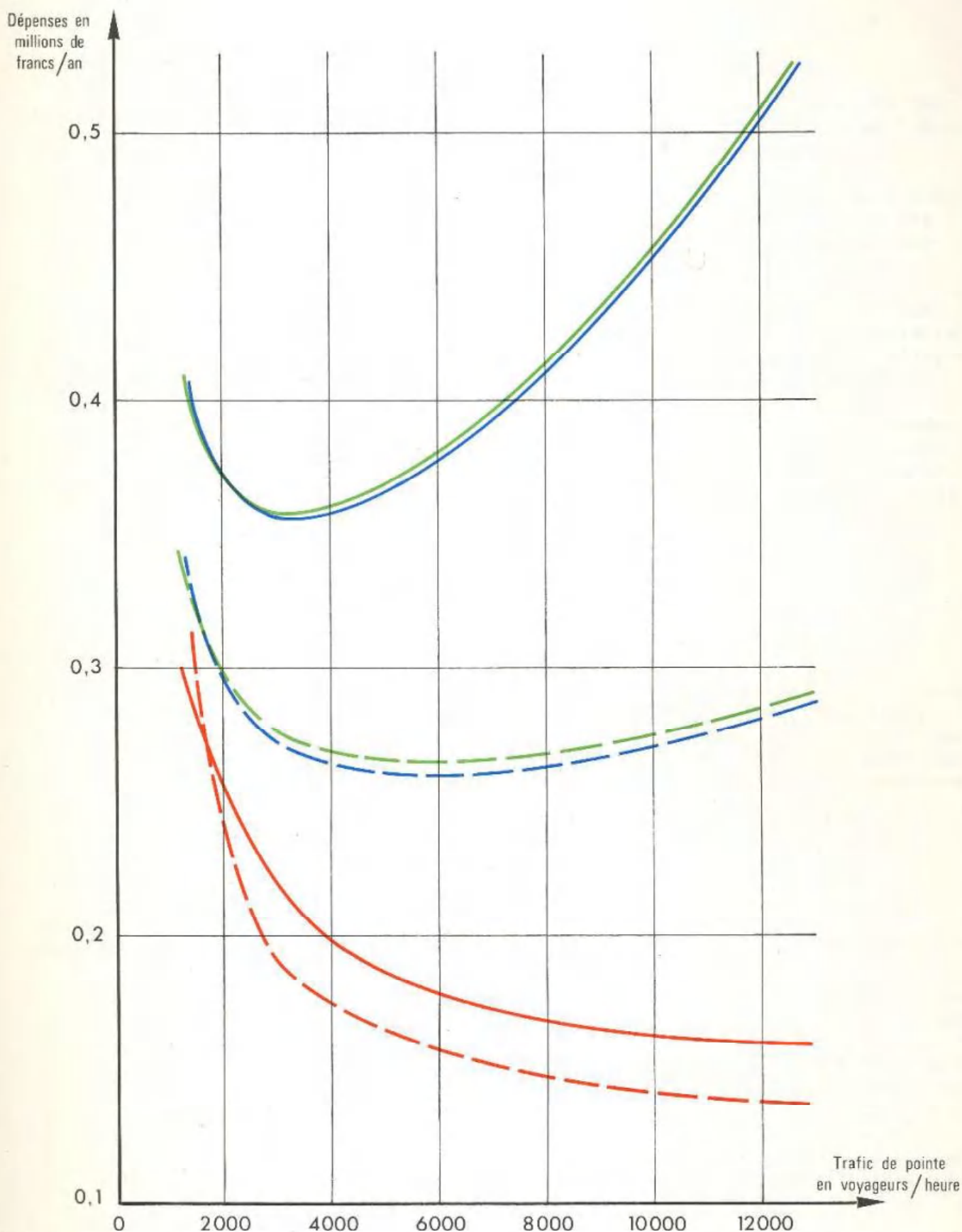
Le tableau ci-dessus met également en évidence que l'investissement supplémentaire d'équipement d'une ligne de transport en commun avec du matériel sur rails est en proportion la plus faible pour des trafics de pointe moyens, de l'ordre de 1 500 à 3 000 voyageurs/heure. Cet argument est en faveur du choix d'une solution tramway dès la décision de mise en site propre d'un axe lourd de transport en commun.

2.2.4.4. - Influence du gabarit du tramway

Cette influence est assez mal connue tant sur le plan économique que du point de vue insertion, le deuxième point étant sans doute le plus important en pratique. Sur le plan économique, elle ne s'exerce que sur le montant des investissements. Quoiqu'il en soit, avec les hypothèses prises en compte, elle est très faible comme l'indique le tableau suivant :

Investissements pour les deux largeurs de tramway (a) élément court - (b) élément long				
Trafic de pointe		Tramway "E" (étroit)	Tramway "L" (large)	Rapport E/L
1 500 voyageurs/h	(a)	209,0	212,4	0,983
3 000 voyageurs/h	(b)	246,5	246,6	1,000
6 000 voyageurs/h	(b)	322,0	315,5	1,021
12 000 voyageurs/h	(b)	473,0	453,3	1,044

* La qualité du service n'est pas prise en compte dans les dépenses réelles.



Dépenses d'exploitation par km de ligne
et par millier de voyageurs à l'heure de pointe

Fig : 22-1

2.2.4.5. - Consommation d'énergie des différents véhicules

Les contraintes de temps sur les intervalles de passage entre deux véhicules imposent aux modes à grande capacité un surcroît de consommation d'énergie de traction d'autant plus important que le trafic de pointe est moins élevé.

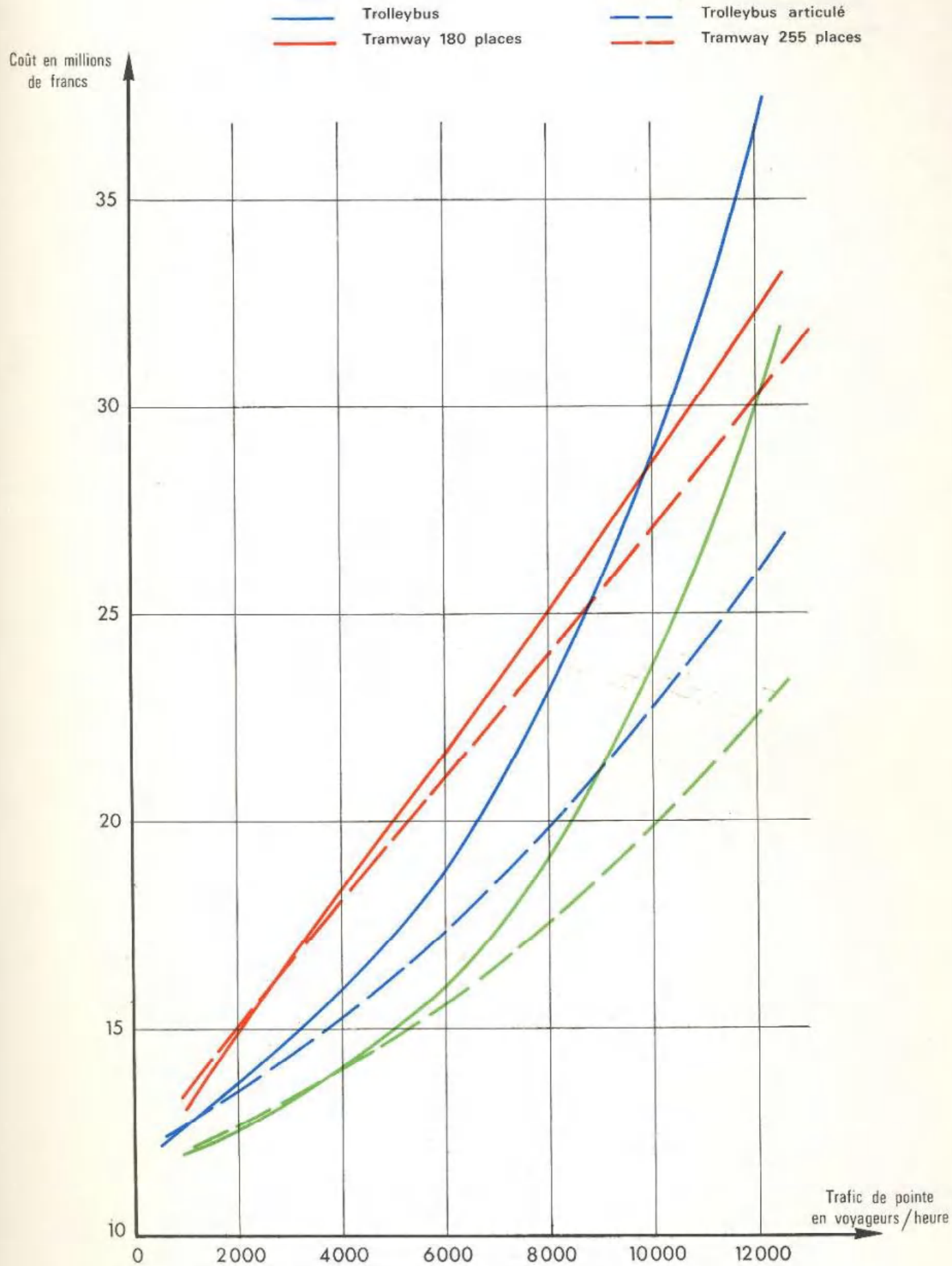
Cependant, comme l'indiquent les tableaux ci-après, les modes sur roues articulés sont toujours plus intéressants dans ce domaine que les modes simples, avec des économies d'énergie pouvant atteindre 10 % de la consommation totale de ces derniers à trafic donné.

Pour le plus bas niveau de trafic de pointe envisagé, l'autobus articulé ou non est le mode le plus économique, avec une consommation d'énergie en TEC inférieure de 17 à 18 % à la consommation des tramways, et de 12 à 14 % à celle des trolleybus.

Dès 3 000 voyageurs à l'heure de pointe, le tramway devient le moins gros consommateur d'énergie : pour des valeurs élevées du trafic, l'économie réalisée représente 17 % et 8 % respectivement de l'énergie consommée par l'autobus ou l'autobus articulé, plus de 25 % de celle consommée par les trolleybus simples, et près de 20 % de celle consommée par les trolleybus articulés.

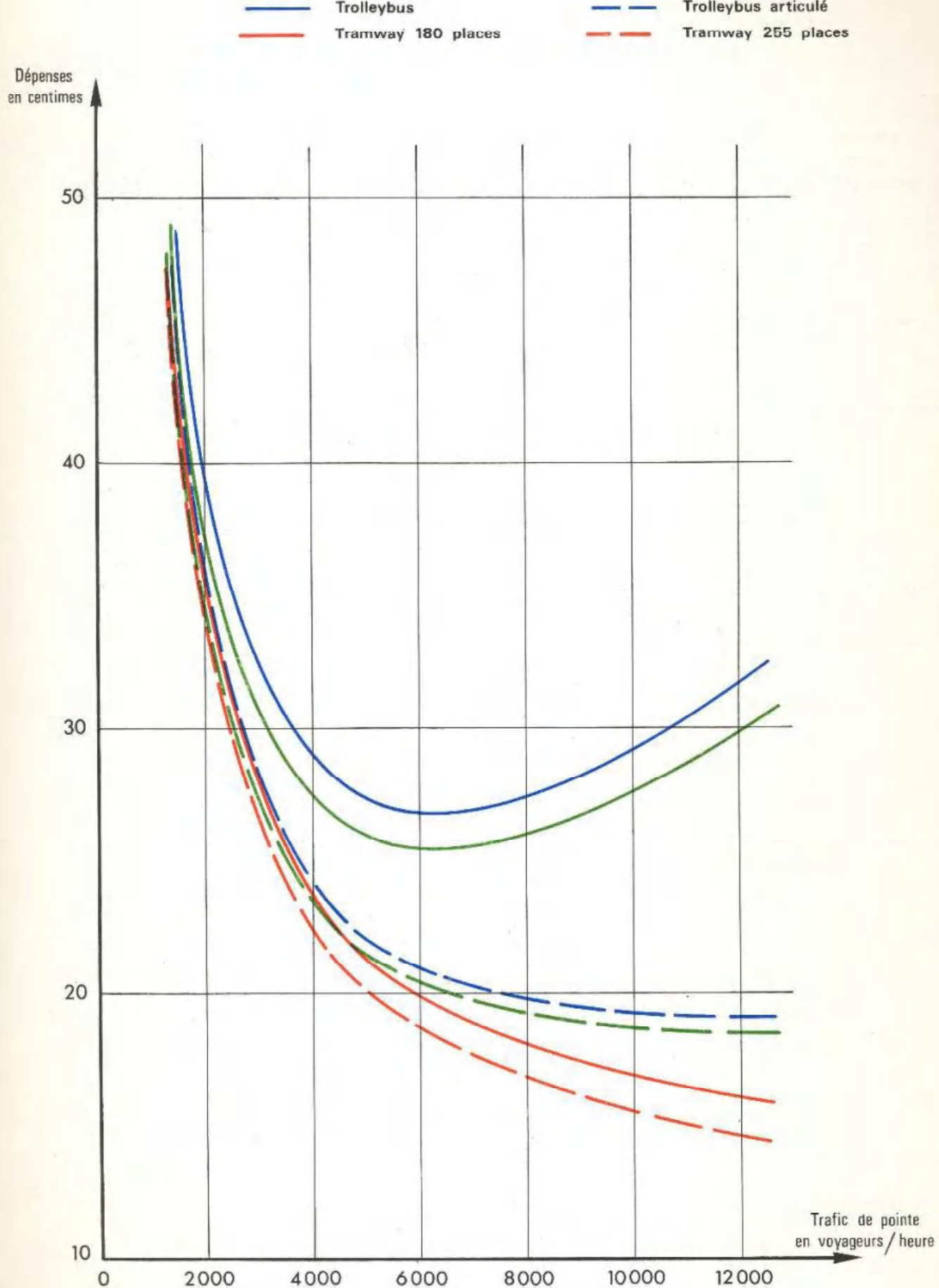
Trafic horaire maximal	Consommation de gasole en millions de litres		Consommation d'électricité (en millions de kWh)		
	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway (a) élément court (b) élément long
1 500 voyageurs/h	0,95	0,93	5,35	5,29	5,63 (a)
3 000 voyageurs/h	1,76	1,66	9,92	9,37	8,10 (b)
6 000 voyageurs/h	3,57	3,22	20,13	18,21	15,07 (b)
12 000 voyageurs/h	7,08	6,37	39,89	36,06	29,06 (b)

Trafic horaire maximal	Consommation d'énergie en tonnes-équivalent-charbon 1973 (en milliers de TEC)					Perte ou gain gain d'énergie réalisé par le tramway par rapport à l'autobus
	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway a) élément court b) élément long	
1 500 voyageurs/h	1,15	1,13	1,31	1,30	1,38 a)	Perte 20 %
3 000 voyageurs/h	2,14	2,02	2,43	2,29	1,98 b)	Gain 7 %
6 000 voyageurs/h	4,34	3,91	4,93	4,46	3,69 b)	Gain 15 %
12 000 voyageurs/h	8,60	7,74	9,77	8,83	7,12 b)	Gain 17 %



Coût d'investissement par km de ligne

Fig : 22_2



Dépenses totales au voyageur . km - Exploitation et Amortissement

Fig : 22-3

Au-delà de 6 000 voyageurs sur le tronçon et à l'heure les plus chargés, l'écart dépasse toujours 8 %.

A 12 000 voyageurs à l'heure de pointe, les économies réalisées par le tramway sur les autres modes en site propre atteignent plus du cinquième des dépenses des solutions autobus et trolleybus articulés, et plus de la moitié des dépenses des solutions autobus et trolleybus simples.

2.2.4.6.3. - Sensibilité des résultats aux coûts de génie civil et au taux d'actualisation

L'importance des dépenses d'investissements justifie que l'on ait tenté de mesurer l'influence des coûts de génie civil, ainsi que celle des taux d'actualisation, sur les résultats de la comparaison entre les modes.

Les dépenses de génie civil à Neuchâteau représentent une hypothèse moyenne et des dépenses minimales et maximales de mise à disposition de la plateforme pour les véhicules en site propre ont été proposées au paragraphe 2.2.3.1.

Les investissements au kilomètre de ligne qui en résultent ne modifient pas les conclusions précédentes : le tramway est toujours le mode initialement le plus coûteux, et l'autobus le plus avantageux (simple ou articulé selon les trafics).

Néanmoins, les écarts sont plus ou moins prononcés : entre l'autobus articulé et le tramway large, les dépenses d'investissement s'accroissent de 30, 26 ou 23 % respectivement selon que les dépenses de génie civil sont minimales, moyennes ou maximales, et pour un trafic de pointe de 12 000 voyageurs à l'heure.

Quant aux résultats relatifs aux dépenses totales annuelles d'exploitation et d'amortissement au voyageur/kilomètre, réunis à l'annexe n° 2 dans le tableau A2-17, ils font apparaître que le tramway est toujours plus rentable, en site propre, que l'autobus et le trolleybus à 72 places, et que, s'il est supplanté par l'autobus articulé pour les valeurs les plus basses du trafic étudié (en-dessous de 2 500 à 3 000 voyageurs à l'heure de pointe), il ne l'est plus par le trolleybus articulé dans le cas des dépenses maximales de génie civil, alors qu'il l'était dans les autres cas pour 1 500 voyageurs à l'heure de pointe.

Pour mesurer la sensibilité des résultats de la comparaison aux taux d'actualisation, trois hypothèses de taux d'actualisation, 6 %, 8 % et 10 % ont été appliquées aux dépenses d'investissements de la variante moyenne des coûts de génie civil (hypothèse Neuchâteau). Du tableau A2-16 de l'annexe n° 2, il ressort que les résultats sont inchangés quel que soit le taux d'actualisation entre 6 et 10 %, et quel que soit le niveau de trafic : les dépenses totales au voyageur-km sont les plus faibles pour le tramway dans tous les cas au-dessus de 3 000 voyageurs à l'heure de pointe, et en deçà de cette valeur, seul l'autobus articulé et parfois le trolleybus articulé sont plus rentables.

2.2.4.7. - Autres indicateurs de comparaison

Tous ces modes sont en site propre : leur impact sur l'environnement, l'accessibilité qu'ils offrent aux habitants de Neuchâteau, les difficultés de réalisation des infrastructures et de contrôle de l'urbanisation sont équivalents. Mais la qualité du service n'est pas identique, car d'une part, la capacité des véhicules varie entre 72 et 255 places, et donc la fréquence nécessaire pour écouler un flux de voyageurs donné est d'autant plus grande que le véhicule est plus petit, et d'autre part la vitesse commerciale évolue en sens inverse de la fréquence, puisqu'elle est fonction de la gêne entre véhicules aux arrêts et en ligne, et des

possibilités d'aménager des priorités aux feux pour les transports en commun.

Le tableau A2-18 de l'annexe n° 2 donne les valeurs théoriques des temps de déplacement (attente et trajet) pour chaque mode et chaque niveau de trafic, ainsi que des indications sur les fréquences de passage aux arrêts. Avec les hypothèses faites sur la vitesse commerciale, l'autobus et le trolleybus sont, pour un parcours moyen de 5 km et un temps d'attente moyen égal au 1/2 intervalle de passage, plus rapides que le tramway jusqu'à des flux à l'heure de pointe de 3 500 - 4 000 voyageurs pour le tramway court et 5 000 voyageurs pour le tramway long, les seuils étant portés à 4 000 et 6 500 - 7 000 voyageurs pour chacun des types de tramways et les autobus et trolleybus articulés (cf. figure 22.4).

Les temps d'attente du tramway sont toujours au moins le double des temps d'attente de l'autobus standard, mais ils n'excèdent jamais 4,5 minutes : de plus, pour les faibles trafics, les normes de fréquence imposées permettent un affichage des horaires et donc, pour les habitués de la ligne qui sont la majorité des usagers, une diminution du temps d'attente dans des proportions importantes.

Enfin, un indice de qualité de service a été omis, car il ne peut être quantifié dans une telle étude : il s'agit de la régularité des passages aux arrêts, qui est mieux assurée avec le tramway ou les modes articulés, exploités en moins grand nombre sur la ligne, qu'avec l'autobus ou le trolleybus simple.

2.2.4.8. - Comparaison des modes en site propre aux modes classiques

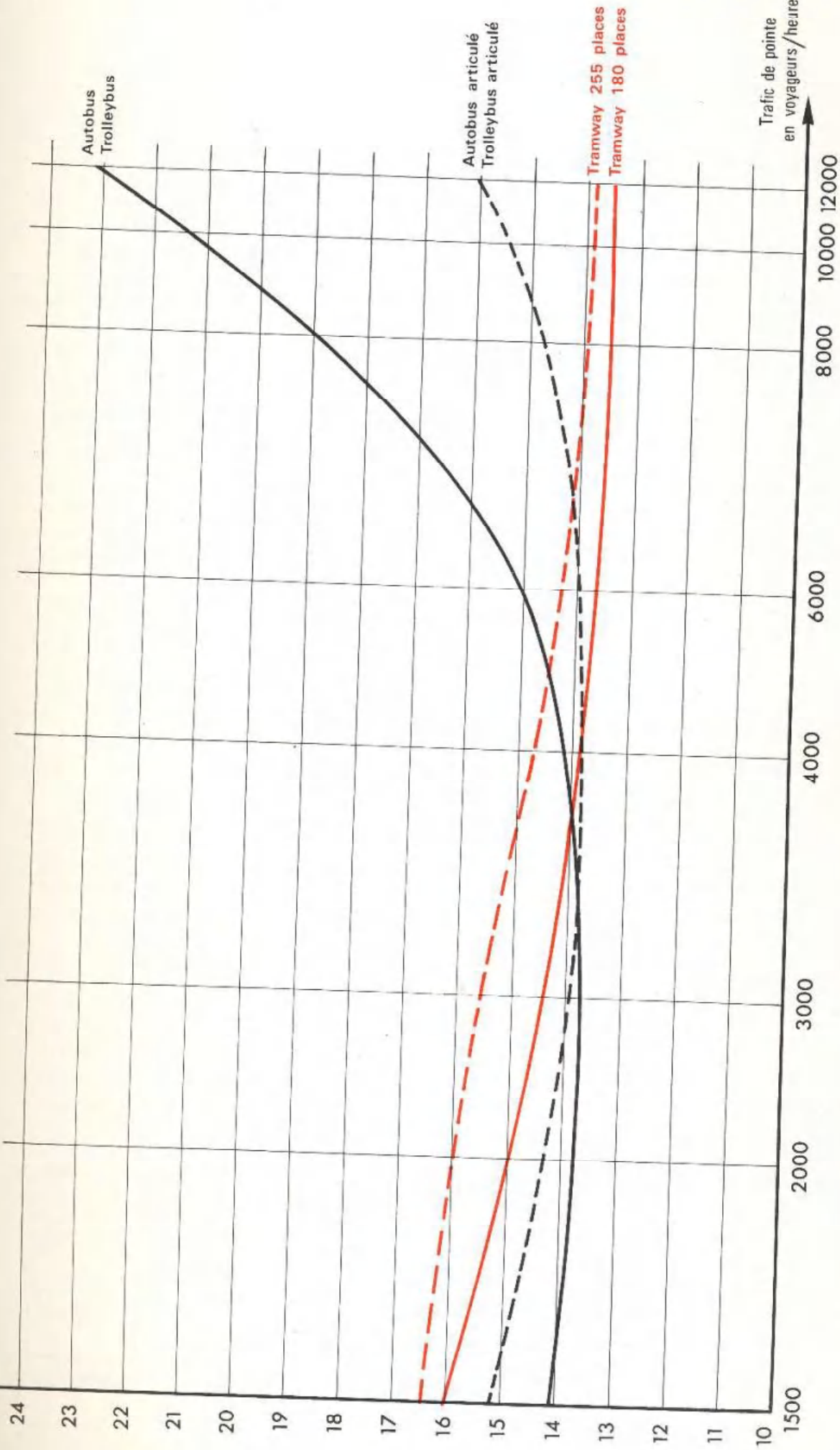
Pour compléter l'étude des transports en commun en site propre, et mesurer l'intérêt d'une telle solution par rapport à des systèmes plus classiques, deux comparaisons complémentaires ont été effectuées.

La première comparaison est faite pour des trafics de 1 500, 3 000 et 6 000 voyageurs à l'heure de pointe, entre le tramway en site propre et l'autobus (articulé ou non) sur un couloir réservé qui serait respecté par les automobilistes.

Les détails de cette comparaison figurent à l'annexe n° 3. Il en ressort que, pour s'en tenir aux dépenses engagées et aux temps de déplacement, le choix du tramway en site propre plutôt que d'un autobus sur couloir réservé respecté par les autres usagers de la voirie, se justifie aux environs de 3 000 voyageurs à l'heure de pointe, et que lorsque sur ce couloir circulent des autobus articulés, ce niveau de trafic est porté, à près de 6 000 voyageurs à l'heure de pointe, pour peu que les vitesses commerciales sur couloir réservé puissent être assurées.

La seconde comparaison, présentée à l'annexe n° 4, concerne les trafics élevés (12 000 voyageurs/heure de pointe), et met en balance les dépenses engagées dans une solution tramway large en site propre au niveau du sol et dans une solution métro en souterrain. Dans ce cas, l'intérêt de la solution tramway est manifeste : les dépenses totales d'exploitation et d'amortissement au voyageur-km sont de 27 centimes dans la solution métro et de 14,5 centimes seulement pour le tramway en site propre sur voirie, alors que le métro ne fait gagner que deux minutes environ par déplacement à un usager des transports collectifs pour un confort moindre puisque l'usager ne peut profiter du spectacle de la rue, mais avec la meilleure régularité possible.

Temps d'attente + Temps de trajet
en minutes



Durée moyenne d'un déplacement à Neuchâteau pour un usager de la ligne en site propre
Temps d'attente + Temps de trajet
(Parcours moyen 5 km)

2. 2. 5. - CONCLUSION

La gamme de trafic qui constitue, compte tenu des hypothèses faites, le domaine d'élection du tramway exploité en site propre sur voirie s'étend depuis environ 5 000 voyageurs à l'heure de pointe jusqu'à plus de 12 000 voyageurs à l'heure de pointe sur le tronçon le plus chargé.

En dessous de 5 000 voyageurs à l'heure de pointe, il n'est plus possible de se déterminer en fonction des seuls critères de dépenses totales et de durée de déplacement.

Si l'on s'en tient à ces dépenses totales au voyageur/km et aux temps de déplacements, c'est l'autobus articulé qui, exploité sur couloir réservé, semble offrir le plus d'avantages, avec nos hypothèses, dans la gamme 1 500 - 5 000 voyageurs à l'heure de pointe, à la condition que les vitesses commerciales retenues soient atteintes : cependant, le tramway exploité en site propre partiel sur certains tronçons de la ligne seulement ne lui a pas été opposé dans nos comparaisons.

En fait, d'autres critères de comparaison (cf. chapitre 2.1.) jouent pour ces trafics tantôt en faveur du tramway en site propre, tantôt en faveur de l'autobus articulé ou même et surtout autobus standard sur couloir réservé.

A l'actif de l'autobus on peut citer par exemple :

1/ sa faible capacité, dont l'avantage est triple, à savoir :

- permettre à l'entreprise exploitante d'adapter au mieux l'offre de transport à la demande en fonction de la structure horaire ou journalière du trafic,
- autoriser une desserte à moindre frais des itinéraires traversant les zones peu denses,
- offrir aux usagers une bonne qualité de service puisque l'autobus peut emprunter le couloir réservé sans imposer de rupture de charge à ses passagers (1).

2/ son faible encombrement, très utile sur un réseau de voirie finement maillé dans un tissu urbain dense, où sa maniabilité confère au tracé des lignes et des couloirs réservés une grande souplesse d'implantation et d'évolution.

3/ la légèreté et le moindre coût des infrastructures nécessaires à son exploitation, puisqu'il utilise au mieux la voirie existante.

En contrepartie, sans site propre, il ne donne pas aux usagers et aux citoyens d'une métropole régionale une image nette du réseau de transport par manque de points de repère, il ne fait que suivre l'urbanisation et il ne peut garantir une qualité de service constante.

Au vu d'expériences récentes tentées dans des villes de province, il ressort enfin qu'une politique très favorable aux transports collectifs non assortie d'investissements lourds de site propre induit un trafic important, mais que le report sur les transports collectifs des utilisateurs de modes individuels est assez faible (30 à 40 % des gains de trafic).

A l'actif du tramway en site propre sur des axes lourds au niveau du sol, on notera :

(1) Hypothèse de réseau exclue de la comparaison

- une vitesse commerciale élevée dans des conditions de confort excellentes (absence de coups de frein intempestifs, grand nombre de places assises en heures creuses du fait de la surcapacité offerte par des normes de fréquence imposées),
- la possibilité de précéder et structurer l'urbanisation. car les lignes en site propre constituent des axes préférentiels d'habitat et d'emploi pour les citadins,
- la possibilité de contrôler l'urbanisation en s'assurant la maîtrise des sols aux alentours des arrêts-stations,
- la garantie aux usagers des transports collectifs d'un niveau de service constant d'un jour à l'autre, le service n'étant plus perturbé par les aléas de la circulation, à l'importance des flux qu'il peut écouler sans modification des infrastructures.

Enfin, l'intrusion du site propre dans le champ visuel des citadins impose aux usagers comme surtout aux non-usagers des transports collectifs la perception consciente ou non de l'existence du réseau de transport en commun, l'impression de la pérennité des lignes et de leur tracé.

Ce dernier facteur conditionne la fréquentation du réseau de transport : dans le cadre d'une politique favorable aux transports en commun, il est sans doute, avec la constance de la qualité du service, le seul capable de dissuader un automobiliste sur quatre d'utiliser sa voiture et donc de doubler, en proportion du total des déplacements, la part de ceux assurés par les transports en commun.

En définitive, plus que concurrentiels, le tramway et l'autobus sont probablement complémentaires : l'autobus, surtout l'autobus articulé, exploité sur des couloirs réservés respectés des autres circulations, constituent certainement d'excellentes solutions, sinon les meilleures, pour des villes de 100 000 à 200 000 habitants, sur les axes où peuvent transiter jusqu'à 3 000 ou 4 000 voyageurs à l'heure de pointe, et elles nécessitent un investissement initial en général très faible.

Complémentaire d'un réseau d'autobus étoffé, le tramway, quant à lui, peut apporter dans le cadre d'une politique favorable aux transports collectifs un changement radical à court terme dans les conditions de transport et le volume du trafic des transports en commun, et un choix en sa faveur constitue en même temps une solution à long terme aux problèmes de transport des métropoles régionales, puisqu'il assure pour ces villes un niveau de service des transports collectifs suffisant jusqu'à la fin du siècle.

3.1.1. - GENERALITES

Avec la troisième partie, sont abordés les problèmes d'interface entre le transport public et les autres utilisateurs de la voirie, et les conséquences pour l'ensemble de l'agglomération. Ces problèmes d'interface peuvent être classés en deux catégories : insertion géométrique et conflits entre circulations. Le présent chapitre est consacré à la première catégorie.

Dans un milieu urbain caractérisé par la pénurie d'espace de circulation, l'intrusion d'un partenaire nouveau, le transport public en site propre au sol, entraîne une redistribution des rôles des différents ayant-droit en fonction des priorités et des possibilités de la voie considérée. Ces différents ayant-droit sont, en plus du transport public qu'il s'agit d'insérer :

- les piétons
- les services publics de voirie et services de sécurité
- les services commerciaux tels que les livraisons
- les taxis
- les deux roues
- les voitures particulières (accès aux garages, circulation et stationnement)

Les piétons, les services publics et commerciaux sont essentiels à la vie urbaine et les dispositions spatiales doivent en tenir compte ; pour les derniers, il peut toutefois être établi des restrictions d'horaires. Les véhicules individuels ne peuvent être admis à circuler et à stationner qu'en fonction de la surface disponible ; seuls l'accès aux garages et le stationnement des riverains sont essentiels.

Une telle priorité dans le droit d'usage de l'espace public urbain est très éloignée de la pratique traditionnelle. Il faut s'efforcer par conséquent de modifier le moins possible les possibilités offertes avant insertion du site propre. Avant d'examiner les différentes modalités d'insertion de ce site propre, il faut donc définir les règles précises relatives à l'emprise qui leur est nécessaire pour chaque type de véhicule : tramway, trolleybus, autobus. De plus, on a estimé qu'il n'était pas inutile de rappeler brièvement, avec la définition des besoins des transports collectifs, celle des besoins des autres utilisateurs, véhicules particuliers et camions, "deux roues" et piétons.

3.1.2. - LA PLATEFORME DU TRAMWAY

3.1.2.1. - Eléments composant la plateforme

La présence et la nature des équipements fixes et aménagements de plateforme dépendent de la situation de l'infrastructure. On a défini six types de plateformes courantes dont la composition est résumée par le tableau ci-dessous :

NATURE DE LA PLATEFORME		Pose de voie			CHEMINEMENT	BARRIERE DE SECURITE	ECRAN ANTI-BRUIT	CANNIVEAU DE CABLE	POTEAUX CATENAIRES	POTEAUX SIGNALISATION	DRAINAGE	DELIMITATION DE PLATEFORME	QUAI HAUT EN STATION
		BALLAST	NOYEE	BETON									
Site propre sur voirie	Disposition minimale	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
	Disposition normale	X	-	-	X	0	0	X	0	X	0	X	-
Site banalisé sur voirie		-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Site propre indépendant au sol		X	-	-	-	X	-	X	X	X	0	X	0
Viaduc		0	0	0	X	X	0	X	0	X	X		X
Souterrain ou trémie		0	-	0	X			X			X		X

Légende

0 possible

- impossible ou inutile

X indispensable ou très recommandé

Dans les stations, en plus des équipements fixes et aménagements indiqués précédemment, se trouvent sur les quais des bancs, abris, panneaux de signalisation pour les voyageurs, éventuellement l'éclairage. D'autres équipements ponctuels situés en pleine voie (moteurs d'appareils de voie, chambres de tirage de cables, etc...) ne réagissent pas sur le dimensionnement de la plateforme et ne sont pas examinés dans ce chapitre.

Outre le gabarit du matériel (défini à l'annexe 1) et les équipements fixes et aménagements de plateforme, les dimensions de la plateforme dépendent des "lames d'air", distances entre silhouette enveloppe du matériel et les obstacles fixes ou les autres matériels, et des dimensions des cheminements lorsqu'ils existent.

a/ Lame d'air minimale entre silhouettes enveloppe et obstacles fixes :

- 0,10 m pour les surfaces verticales ou inclinées jusqu'à 45°
- 0,15 m dans les parties hautes autour du volume balayé par le pantographe (pour éliminer le risque d'amorçage en 750 v),

b/ Lame d'air entre deux véhicules se croisant : 0,20 m en alignement droit.

Cette valeur :

- diminue l'effet de souffle aux croisements de deux véhicules à pleine vitesse,
- permet de conserver le même écartement des voies lorsque la ligne est en courbe de grand rayon,
- permet de placer sur le matériel roulant des équipements ponctuels entraînant des décrochements dans la silhouette enveloppe en alignement mais s'effaçant en courbe.

c/ Lame d'air entre matériel roulant et aplomb des voies routières ou des trottoirs : 0,30 m

d/ Cheminement

Il est calé sur la silhouette-enveloppe du matériel roulant. Il mesure 2,00 m sur 0,70 m, mais ce rectangle peut être tronqué à la base et au sommet sans que sa largeur minimale soit inférieure à 0,60 m.

3.1.2.2. - Ouvrages de pleine ligne en voirie

Ces ouvrages peuvent être classés en trois catégories :

- lorsqu'il n'y a pas possibilité d'isoler matériellement la plateforme (essentiellement dans les carrefours) ou que cette séparation n'est pas souhaitable (rues piétonnes), elle est en site banalisé ; la voie est noyée en chaussée et il n'y a pas de protection physique de la plateforme,
- lorsque la ligne s'inscrit dans une urbanisation dense sur des voies de largeur réduite, les dispositions retenues sont celles qui conduisent à une largeur minimale ; la section est dite "en site propre-dispositions minimales",
- lorsque la ligne est implantée dans une voie large, existante ou à créer, les dispositions retenues sont les plus favorables pour la construction et l'exploitation de la ligne ; la section est dite "en site propre disposition normale".

3.1.2.2.1. - Voie banalisée

Pour la plateforme de pleine voie, tous les équipements sont hors de l'emprise :

- les câbles sont en caniveau ou en tranchée sous trottoir,
- les supports de fil d'alimentation électrique sont soit des poteaux sur trottoirs, soit des ancrages dans les façades d'immeubles;

- les supports de signalisation pour la circulation générale ou pour le transport public sont également extérieurs à l'emprise sur refuges, sur portiques, etc.
- il n'y a pas de drainage propre à la plateforme, la voie étant noyée dans la chaussée.

3.1.2.2.2. - Site propre, disposition minimale (Fig. 31.1.)

Ce type de plateforme correspond aux mêmes dispositions que le précédent et à la même largeur de plateforme. Il s'en distingue par les deux particularités suivantes :

- la séparation des emprises est matérialisée par une bordure basse en béton placée à l'intérieur de la plateforme elle-même,
- la voie peut être ballastée ; la bordure sert à caler le ballast et à rattraper la différence de niveau entre dessus des traverses et chaussées. Lorsque le phénomène d'imbibition du terrain est insuffisant, le drainage de la plateforme est assuré par des drains sous voie avec regards entre les rails (en coupant une traverse ; la voie ballastée est plus économique d'établissement et d'entretien que la voie noyée et plus souple, la plateforme plus personnalisée donc plus dissuasive pour les piétons ; par contre elle est un peu plus bruyante que la voie noyée dans le bitume.

Sur ce type de plateforme, l'évacuation latérale des rames en cas d'incident nécessite dans certains cas la neutralisation préalable d'une voie routière.

La largeur de la plateforme, qui doit être matérialisée par une signalisation au sol, est donnée par le tableau suivant :

TYPE DE MATERIEL	1 VOIE	2 VOIES
Etroit (2,20 m)	2,90	5,40
Large (2,50m)	3,20	6,00

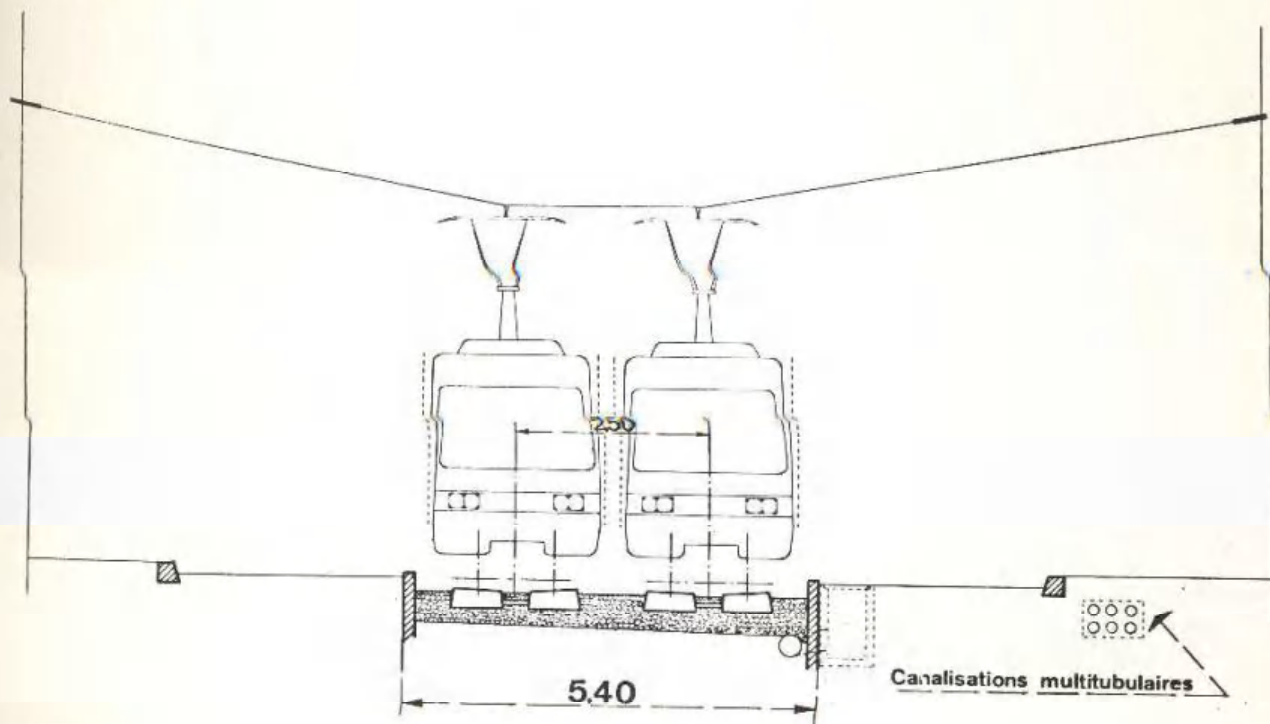
Largeur de plateforme - site banalisé et site propre disposition minimale -
alignement droit

3.1.2.2.2. - Site propre, disposition normale (Fig. 31.2)

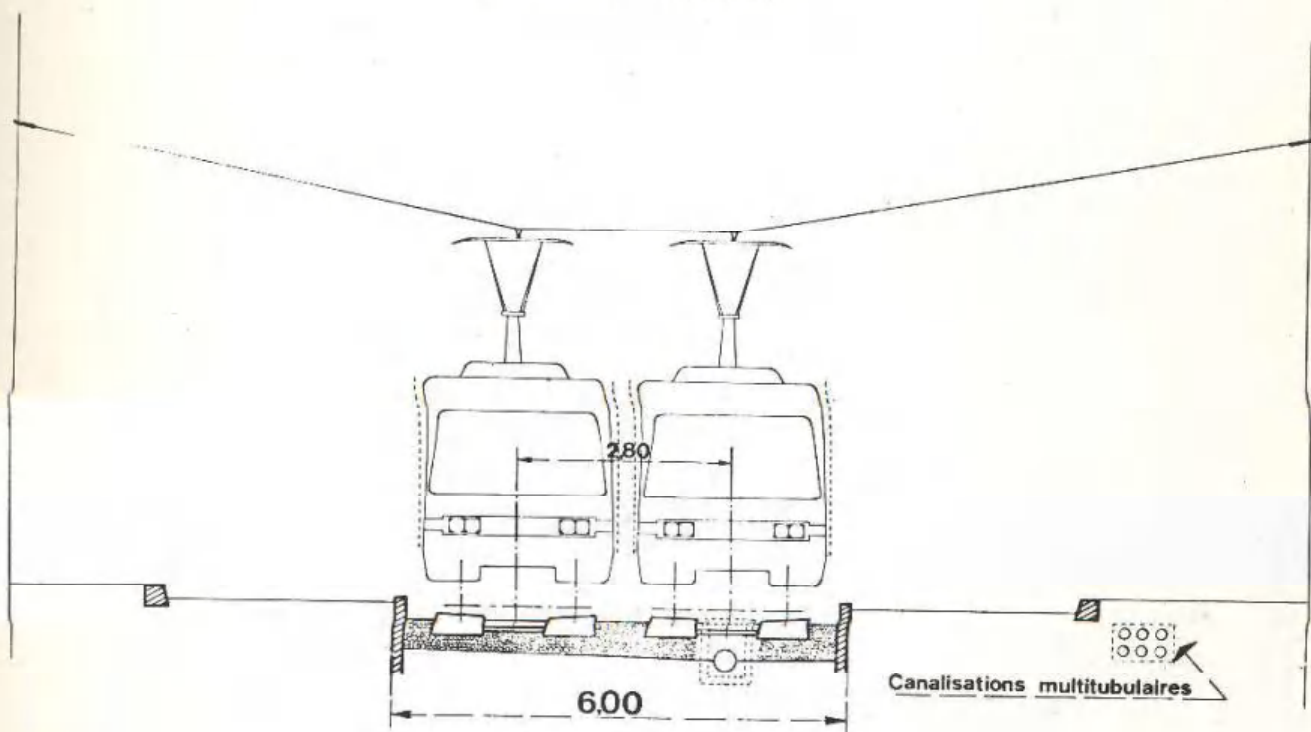
Tous les équipements de la ligne sont disposés dans l'emprise. La séparation du domaine des transports publics de celui des voitures particulières peut être aménagée de deux façons (Fig. 31.3) :

- avec un cheminement latéral et une barrière protégeant le site propre contre les traversées de piétons en dehors des passages prévus,
- avec des buissons bas isolant la plateforme, solution plus esthétique que la précédente, mais supprimant le cheminement.

La largeur de la plateforme est donnée par le tableau ci-après .



MATERIEL ETROIT



MATERIEL LARGE

SITE PROPRE DISPOSITION MINIMALE

Fig. 31.1

TYPE DE MATERIEL	1 VOIE	2 VOIES
Etroit (2,20 m)	4,20	7,40
Large (2,50 m)	4,50	8,00

Largeur de plateforme - site propre - disposition normale

Ce type d'emprise permet d'intégrer les poteaux de fil de trolley latéralement ou dans l'axe dans le cas de voie double, bien que la file de poteaux axiale impose des contraintes plus fortes pour l'implantation de la plateforme. Il permet d'intégrer également les supports d'éclairage public, de signalisation de la voie et de la circulation routière, et les refuges pour les traversées piétonnes.

La largeur de l'emprise permet l'inscription en courbe sans surlargeur dans la majorité des cas.

3.1.2.2.4. - Cas intermédiaire

Lorsque l'emprise ne peut pas être à la largeur normale mais peut avoir une largeur supérieure au minimum, certains éléments de la disposition normale peuvent être incorporés, ce qui améliore le fonctionnement de l'emprise.

3.1.2.3. - Stations en voirie

La largeur des quais est fonction du trafic d'échange.

La largeur minimale comprend :

- une zone de sécurité au bord de la voie
- une zone de stationnement
- une zone de circulation de personnes

Pour une station peu chargée (40 personnes en attente) elle est de 2 m.

La largeur normale permet de plus d'incorporer des équipements, d'installer des abris de quais avec sièges, des supports de signalisation et, lorsque le quai est placé le long de la chaussée, une barrière de protection ; la largeur nécessaire est de 2,50 m pour une station peu chargée. Différentes dispositions de station et les emprises correspondantes sont données par les fig. 31.4 à 31.6.

Les largeurs indiquées ne permettent aucun rescindement de quai pour un débouché latéral d'accès : les accès doivent être placés en extrémités de quai, qu'ils soient dénivelés ou non.

3.1.2.4. - Autres types d'infrastructure

Les ouvrages sont semblables à ceux d'un métro classique. Tous les équipements sont incorporés à la plateforme.

3.1.2.4.1. - Site propre indépendant au sol (en remblai ou déblai - Fig. 31.7)

L'organisation de la plateforme est semblable à celle de la disposition normale en voirie. Le drainage peut être assuré par des fossés latéraux, maçonnés ou non. Le cheminement est écarté de la silhouette enveloppe. L'emprise nécessaire est donnée par le tableau suivant :

TYPE DE MATERIEL	DEBLAI (PIED DE TALUS)	REMBLAI (SOMMET DE TALUS)
Etroit (2,20 m)	10,70	9,80
Large (2,50 m)	11,30	10,40

3.1.2.4.2. - Viaduc

Les poids par essieu étant comparables à ceux d'un métro, la structure de l'ouvrage est semblable. Pour diminuer la largeur du tablier, les supports de caténaires sont disposés latéralement et intégrés à la corniche de réglage servant également d'écran anti-bruit. La voie peut être posée sur le ballast ou sur béton. Dans ce dernier cas, un gain de 20 % est obtenu sur les charges permanentes du tablier.

Au niveau des stations, suivant la disposition retenue par les quais (qui dépend surtout de la place disponible au sol) la largeur de la structure est portée à 10 m pour les quais latéraux et à 12 m pour le quai central. (Fig. 31.8 et 31.9 dans le cas du matériel large).

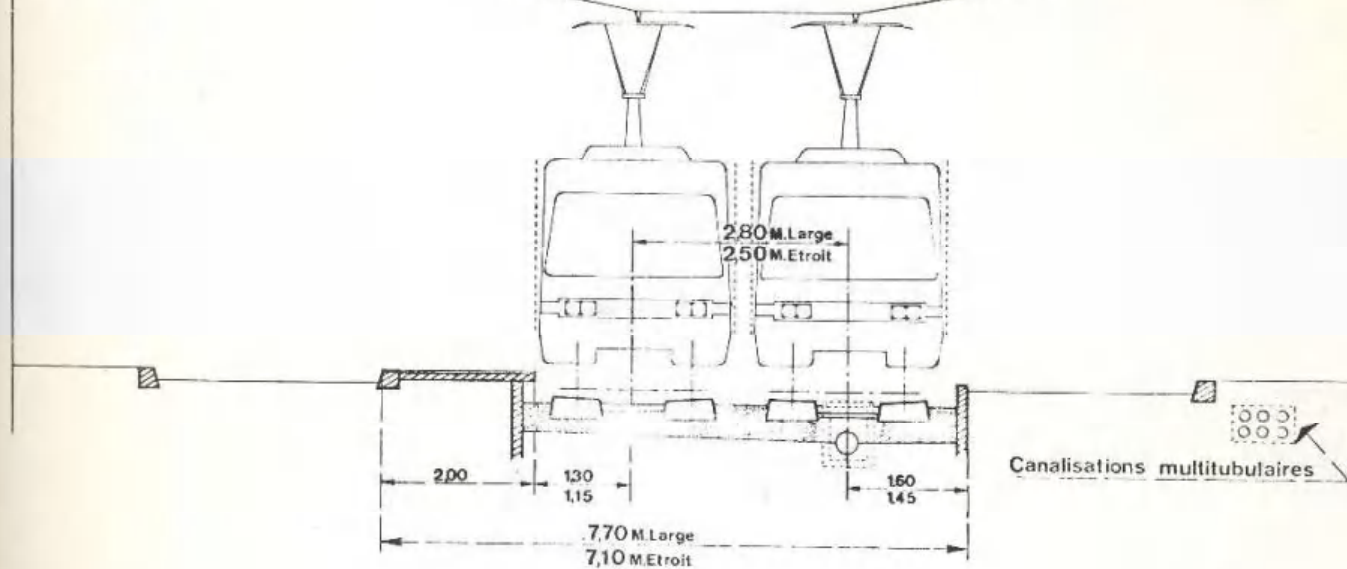
3.1.2.4.3. - Souterrain (Fig. 31.10)

La meilleure disposition pour le souterrain courant à double voie, consiste à placer les cheminements latéralement. Les câbles peuvent être placés dans des caniveaux sous les cheminements ou au-dessus d'eux le long des piédroits. La signalisation se place également le long du piédroit. La hauteur du souterrain est déterminée par l'espace nécessaire entre la face supérieure du matériel roulant et l'extrados de l'ouvrage. Dans cet espace on doit placer le fil de contact avec ses dispositifs d'accrochage. Deux cotes sont à considérer :

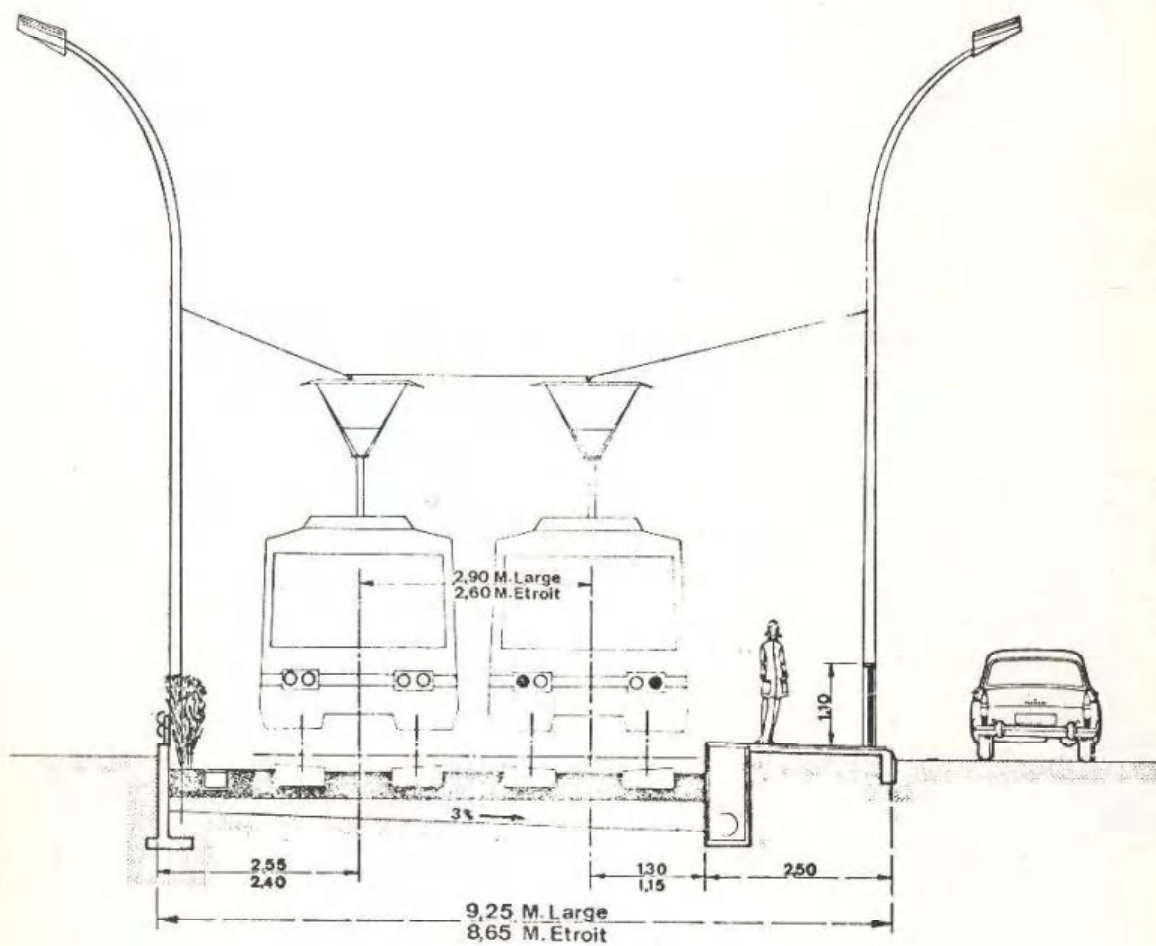
- la distance d'isolement nécessaire entre le pantographe en position repliée et le fil de contact,
- la distance d'accrochage du fil de contact qui doit permettre l'incorporation de supports élastiques.

Ces deux cotes ont une valeur minimale de 0,20 m ce qui entraîne une hauteur minimale de 3,80 m entre la surface de roulement et l'intrados de l'ouvrage pour une couverture plate. La distance de 0,40 m entre pantographe replié et intrados est utile en cas d'accident car elle permet de soulever la caisse.

Les stations peuvent se présenter sous deux aspects suivant le fonctionnement des accès. Si les sorties sont spécialisées, on peut placer l'ouvrage à fleur de sol. Dans le cas contraire, il est nécessaire de placer une salle d'échange qui



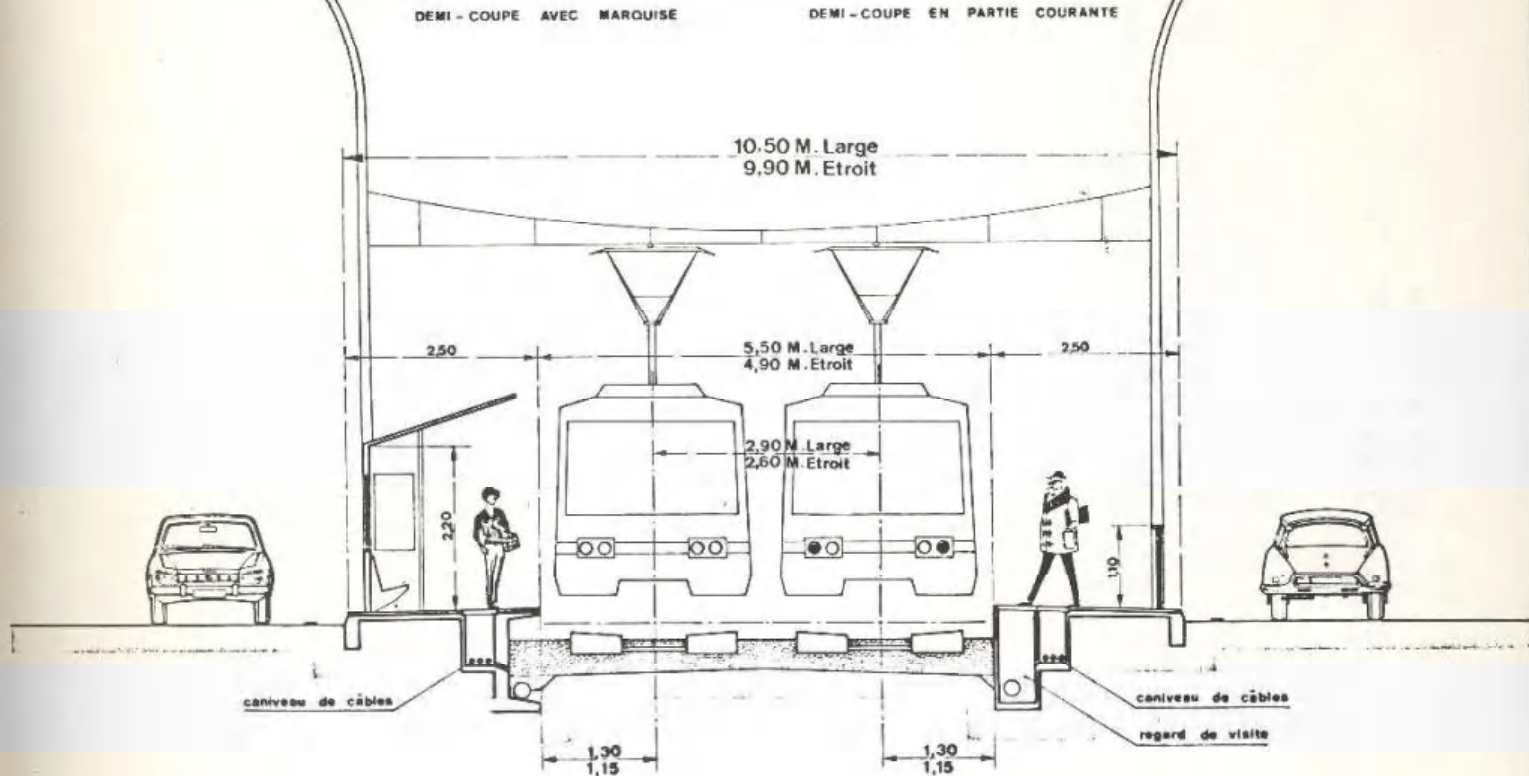
EMPRISE MINIMALE



EMPRISE NORMALE

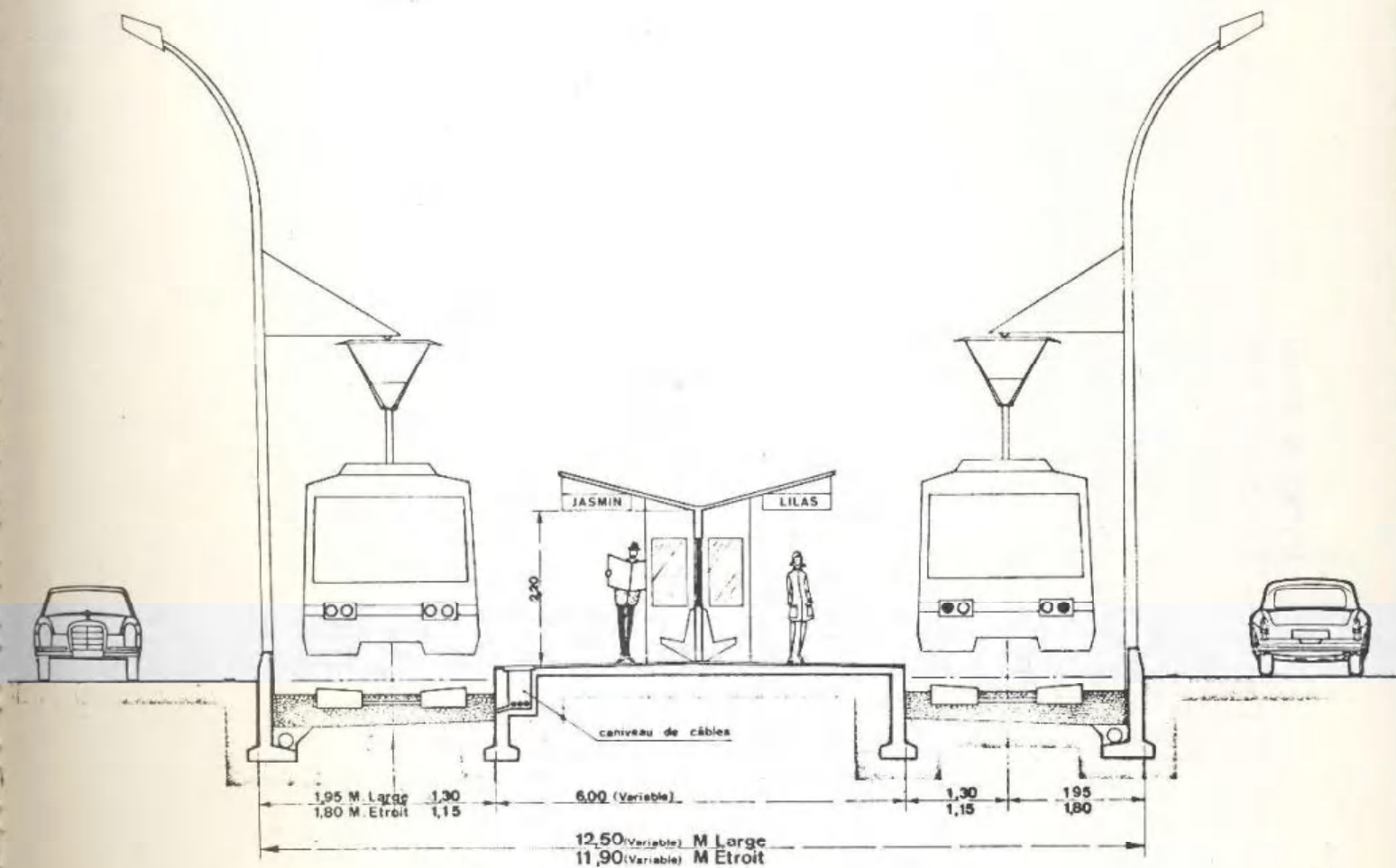
STATION A QUAIS DECALES

Fig. 31.4



STATION A QAIS LATERAUX

Fig. 31.5

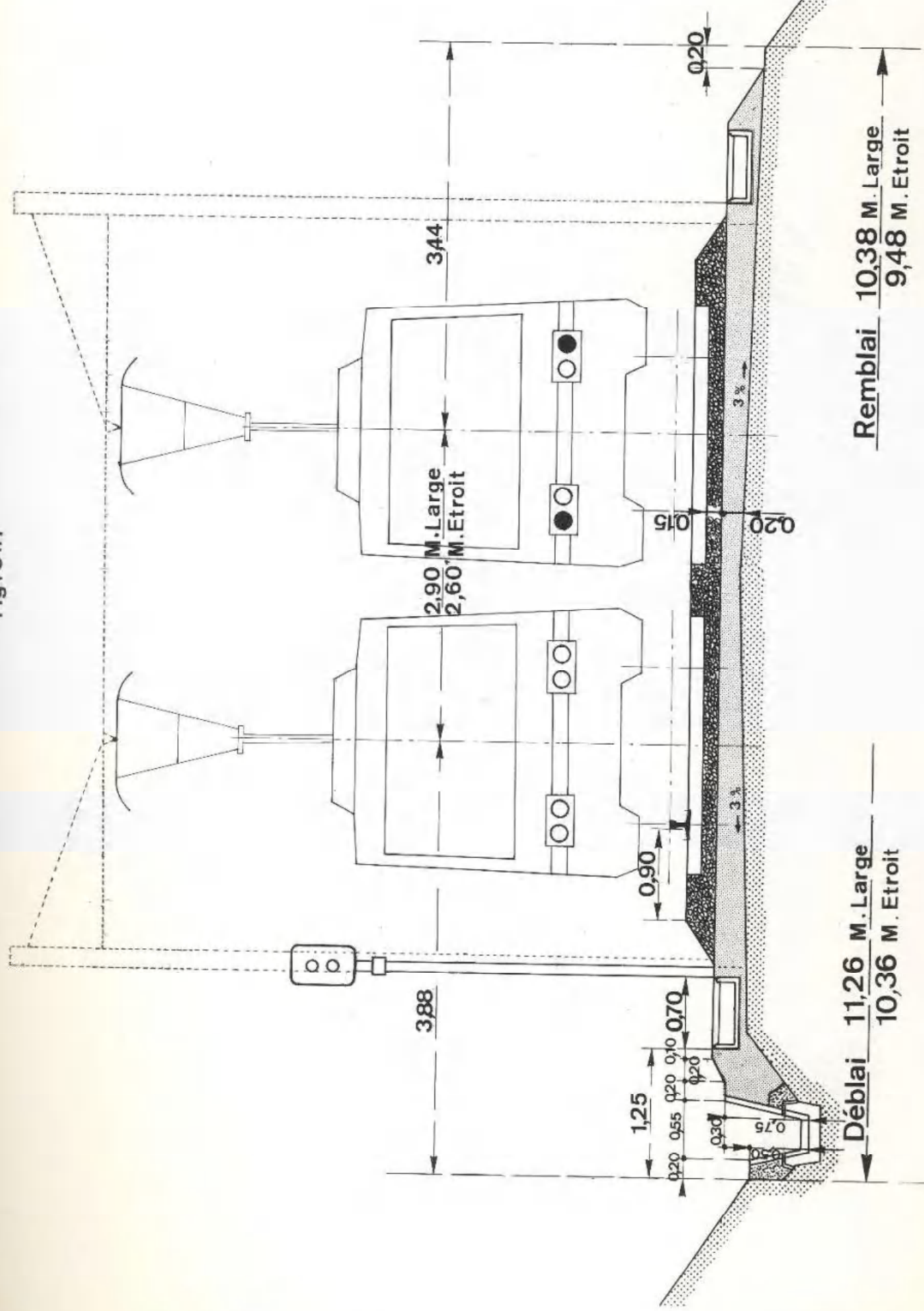


STATION A QUAI CENTRAL

Fig. 31.6

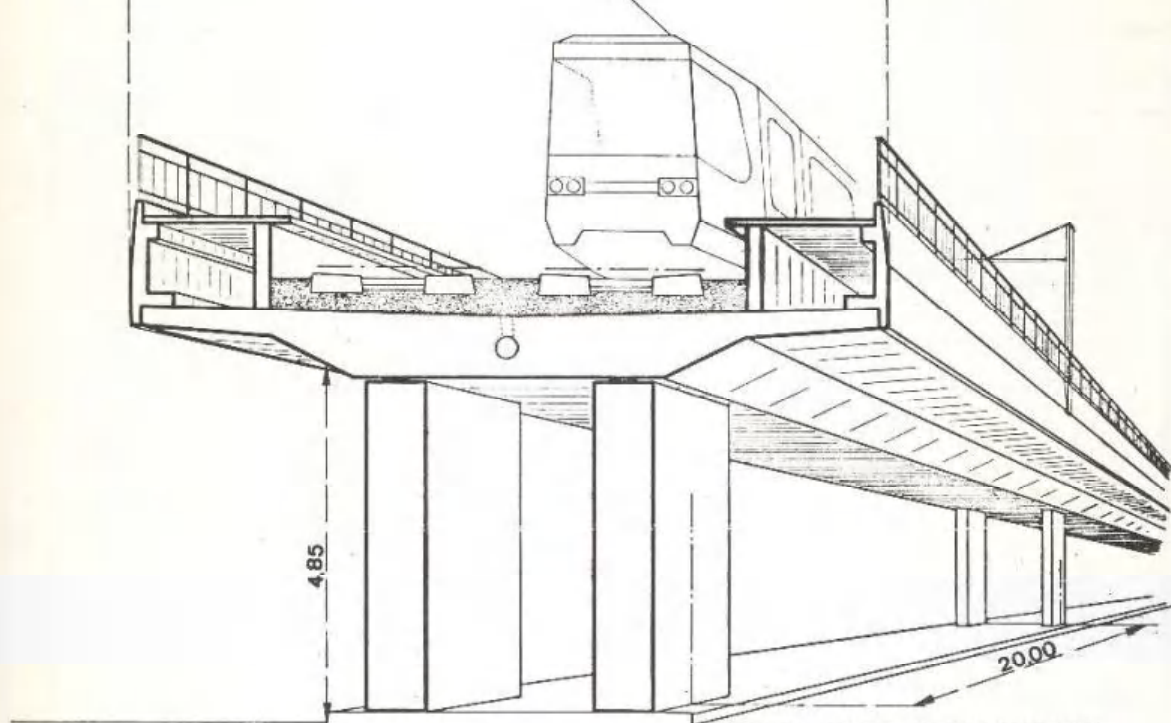
SITE PROPRE INDEPENDANT AU SOL

Fig : 31.7



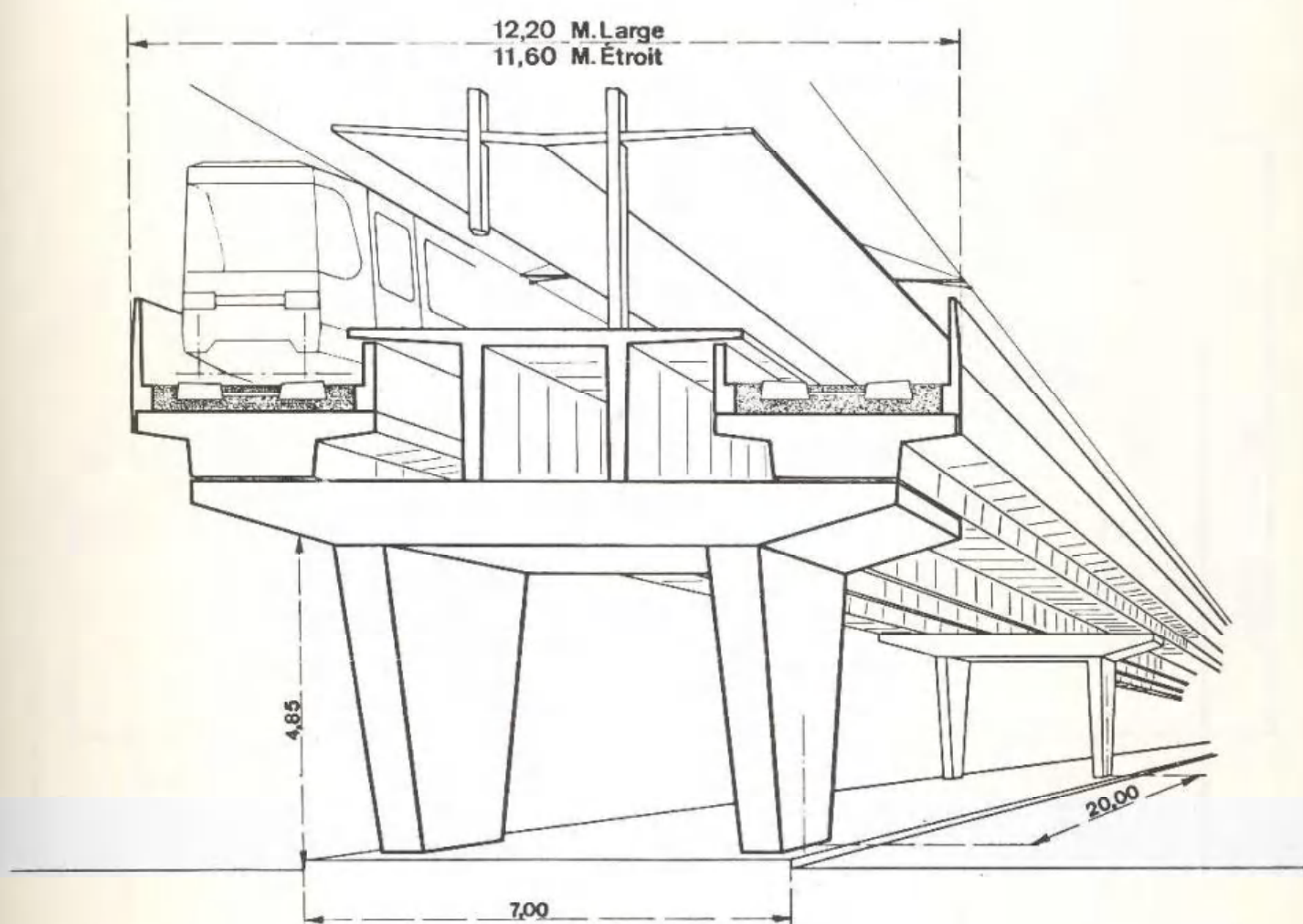
Remblai 10,38 M. Large
9,48 M. Etroit

Déblai 11,26 M. Large
10,36 M. Etroit



STATION A QAIS LATERAUX

Fig. 31.8



STATION A QUAI CENTRAL

Fig. 31.9

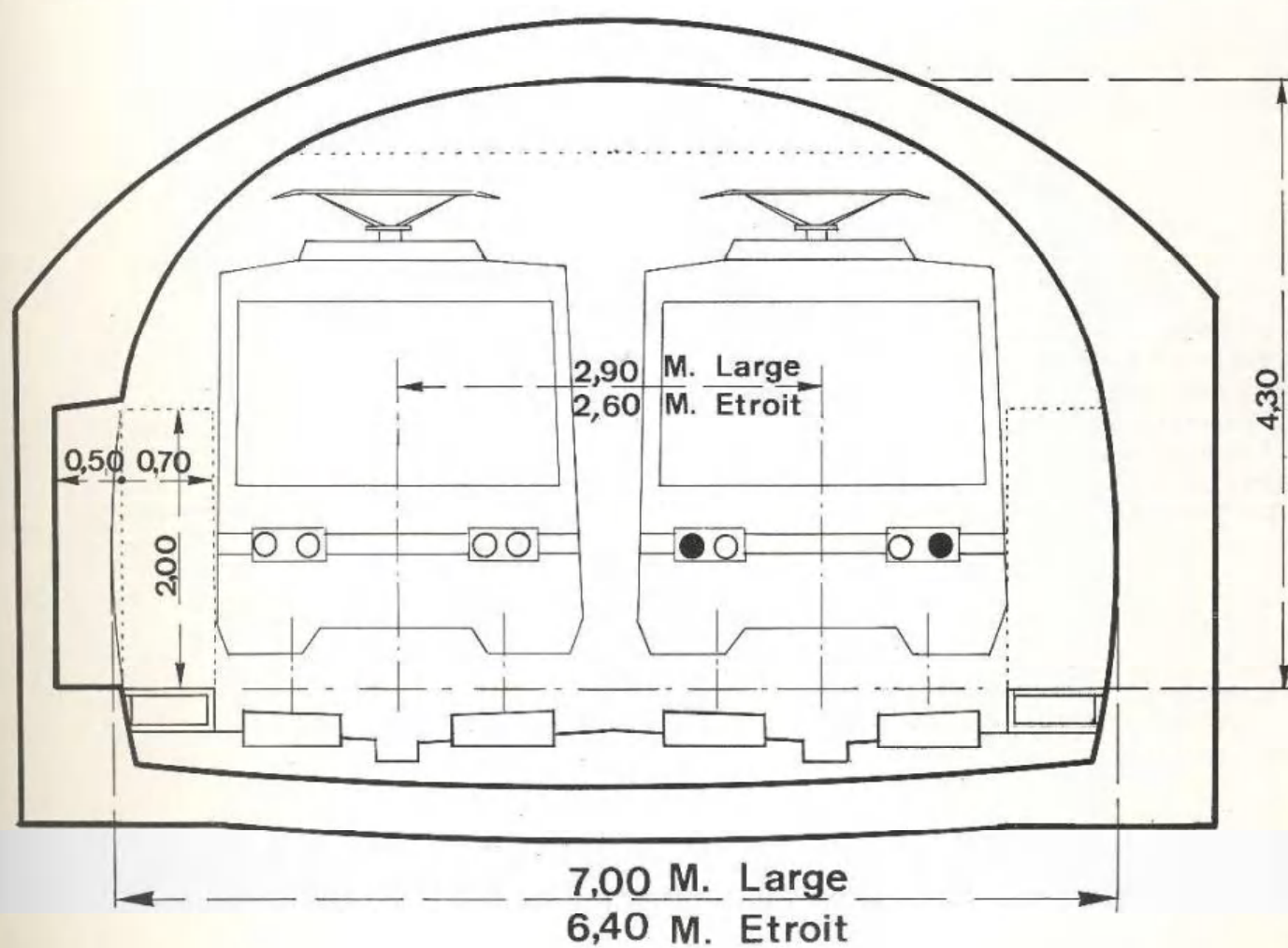
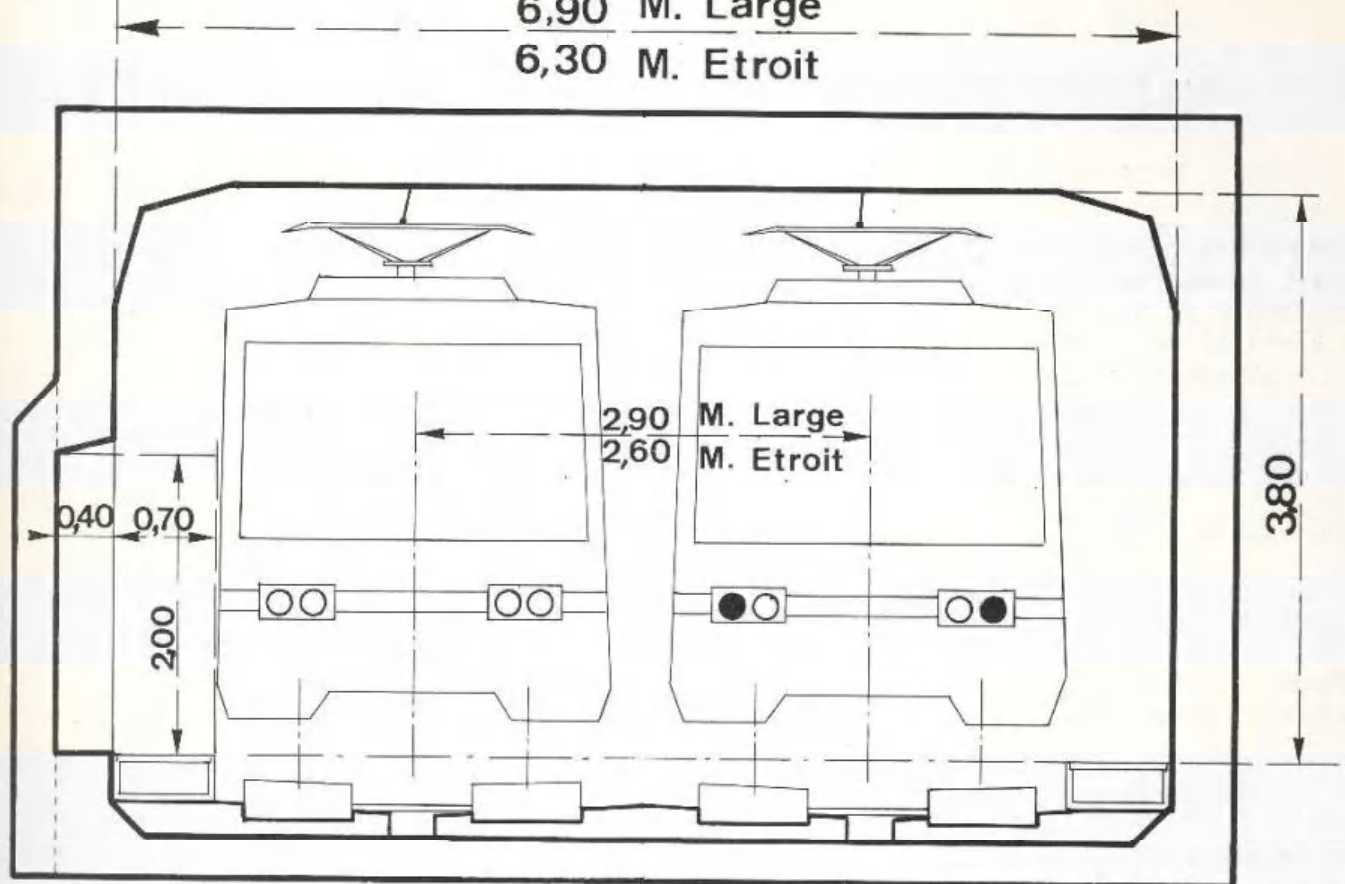


Fig : 31.10

peut être soit en surface, soit en souterrain. La deuxième oblige à placer le niveau du rail à 8 m environ sous la chaussée (voir figure 31.11 & 31.12).

3.1.2.4.4. - Transitions

Ce sont essentiellement les trémies de passage en souterrain et les plateformes d'accès aux viaducs. Dans la solution normale, il est prévu un cheminement dans la zone de transition. Dans la solution minimale, il est nécessaire de supprimer localement toute possibilité de cheminement c'est à dire d'évacuation latérale à l'extérieur de la voie. Cette lacune s'étend en moyenne sur une distance de l'ordre de 100 m.

3.1.2.4.5. - Gares d'échange ou terminus

Il n'est pas possible de donner une position type pour ces ouvrages. On peut distinguer les catégories suivantes :

- stations de correspondance des lignes de tramway entre elles,
- stations de correspondance entre ligne de tramway et ligne d'autobus, l'importance et la structure des ouvrages dépendent du nombre de lignes routières rabattues sur le tramway,
- station de correspondance entre ligne de tramway et parking de dissuasion.

Les solutions retenues dépendent de la place disponible au sol. Il est essentiel dans tous ces ouvrages de réduire l'inconvénient important de la rupture de charge. Par exemple, une solution consiste à desservir le même quai d'un côté par les autobus et de l'autre par le tramway. En souterrain une station peut être commune à deux lignes différentes, etc...

3.1.3. - AUTOBUS STANDARD OU ARTICLE

Les types d'infrastructure utilisés pour ce mode de transport, sont de même nature que ceux définis par le tramway. L'autobus peut circuler en site banalisé, en site propre sur voirie et en souterrain ou viaduc. Compte tenu des coûts d'exploitation et d'entretien, le débit maximal possible pour ce mode de transport est relativement faible et ne permet pas d'amortir des infrastructures spécialisées très coûteuses. Ceci implique que l'autobus a plutôt pour vocation de rester au niveau du sol en site banalisé ou en site propre, et ce sont ces infrastructures qui seront décrites.

3.1.3.1. - Voie banalisée et voie réservée

L'autobus en site banalisé est mélangé à la circulation générale et ne demande pas de dimensionnement spécifique en section courante. Au niveau des stations, seul un abri avec panneau d'affichage d'information sur le réseau, la ligne, les horaires de passage, etc... est nécessaire.

Les dispositions relatives aux couloirs réservés pour autobus, tels qu'ils sont couramment utilisés, ne sont pas examinées dans cette étude. Cette solution intermédiaire entre la voie banalisée et le site propre au sol, dont les sujétions d'utilisation ne permettent pas l'utilisation dans les conditions de régularité et de vitesse requise pour un axe lourd, implique des dispositions très variables suivant la disposition de lieux et se caractérise avant tout par sa souplesse.

3.1.3.2. - Site propre sur voirie

La largeur de la réservation dépend :

- de la vitesse pratiquée sur la piste,
- du type de séparation envisagé vis à vis des piétons et des voitures particulières,
- du type d'exploitation sur l'axe considéré.

Pour que la largeur d'emprise soit comparable à celle du tramway, elle doit correspondre au même nombre de voies de circulation, ce qui impose pratiquement un seul type de desserte sur un axe donné (tous les véhicules s'arrêtent à toutes les stations).

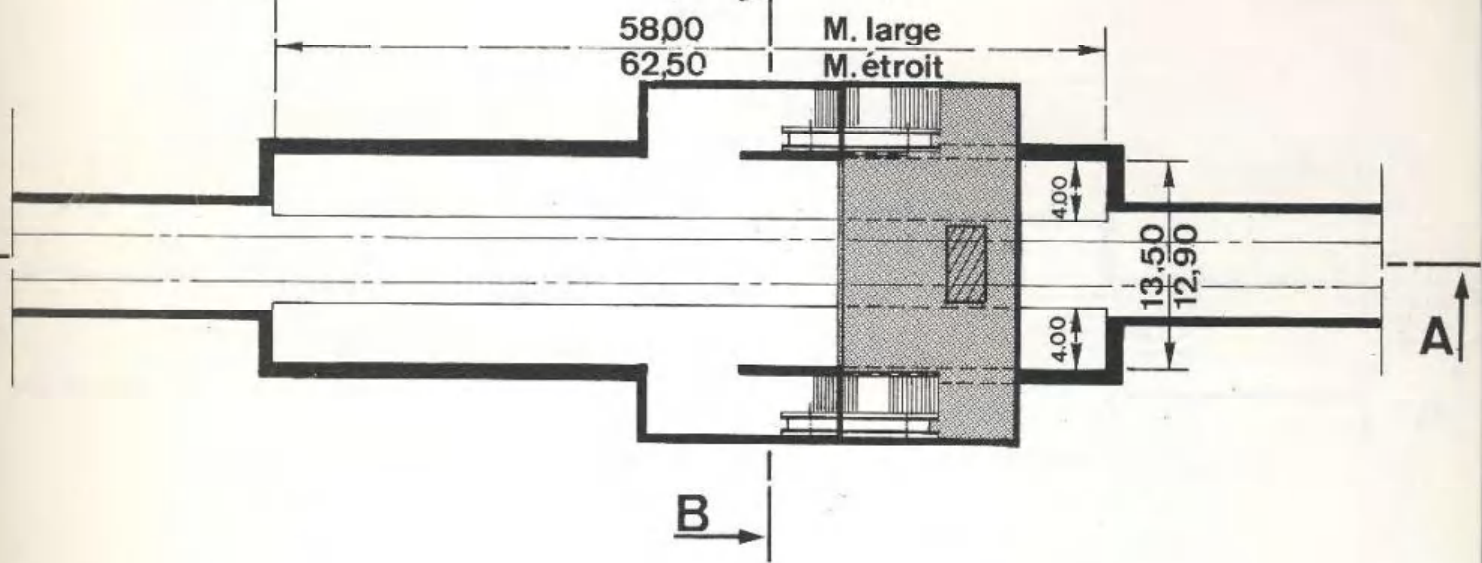
3.1.3.2.1. - Emprise minimale en section courante

Pour assurer un fonctionnement correct, il est nécessaire de disposer d'une largeur de 3,50 m par file de circulation, soit 7 m d'emprise pour la plateforme à deux voies, bordures basses comprises; cette bordure basse ne peut pas constituer un masque continu et l'effet de paroi n'existe donc pas (Fig. 31.13). La différence de largeur d'emprise entre autobus et tramway de même largeur s'explique par l'absence de guidage du premier. Il est en effet impossible de réaliser en exploitation courante le croisement de deux autobus roulant à 50 km/h en conservant entre eux une lame d'air de 0,30 m seulement. Si l'on veut protéger la plateforme par une glissière de sécurité ou si l'on veut empêcher la traversée des piétons en un point quelconque, il faut disposer d'une bande d'équipement supplémentaire qui permet également de placer les feux spéciaux pour les bus et pour les "tourne-à-gauche". La largeur est alors portée à 8,50 m minimum (Fig. 31.14).

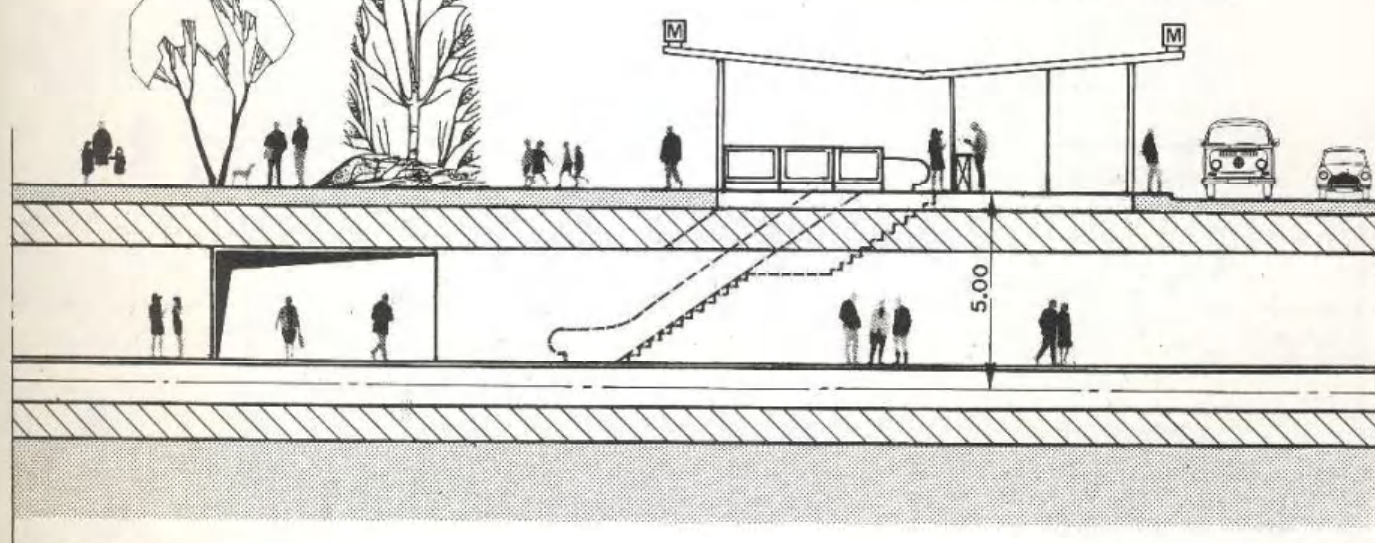
3.1.3.2.2. - Emprise au niveau des stations

La largeur du quai est la même que pour le tramway (2 m ou 2,50 m). En effet, les deux systèmes offrent le même nombre de places au mètre linéaire et le rapport de des nombres d'ouvertures au nombre de places offertes est très voisin. Les équipements de quai sont de même nature. Comme tous les véhicules s'arrêtent en station, la voie de circulation qui dessert le quai peut être réduite à une largeur de 3 m. Ceci conduit à une emprise minimale de 8,50 m pour une station à quai décalés. La largeur d'emprise normale correspondante est de 9,75 m.

La largeur du quai doit permettre l'arrêt de plusieurs véhicules en station là où les lignes sont jumelées. Cette disposition permet de diminuer les temps de stationnement mais entraîne des mouvements de voyageurs aux arrêts, car le point d'arrêt ne peut être matérialisé : le premier véhicule qui se présente s'arrête, en l'absence d'autre véhicule, au pignon de la station. Une longueur correspondant au stockage de 3 véhicules est suffisante.



COUPE AA



COUPE BB

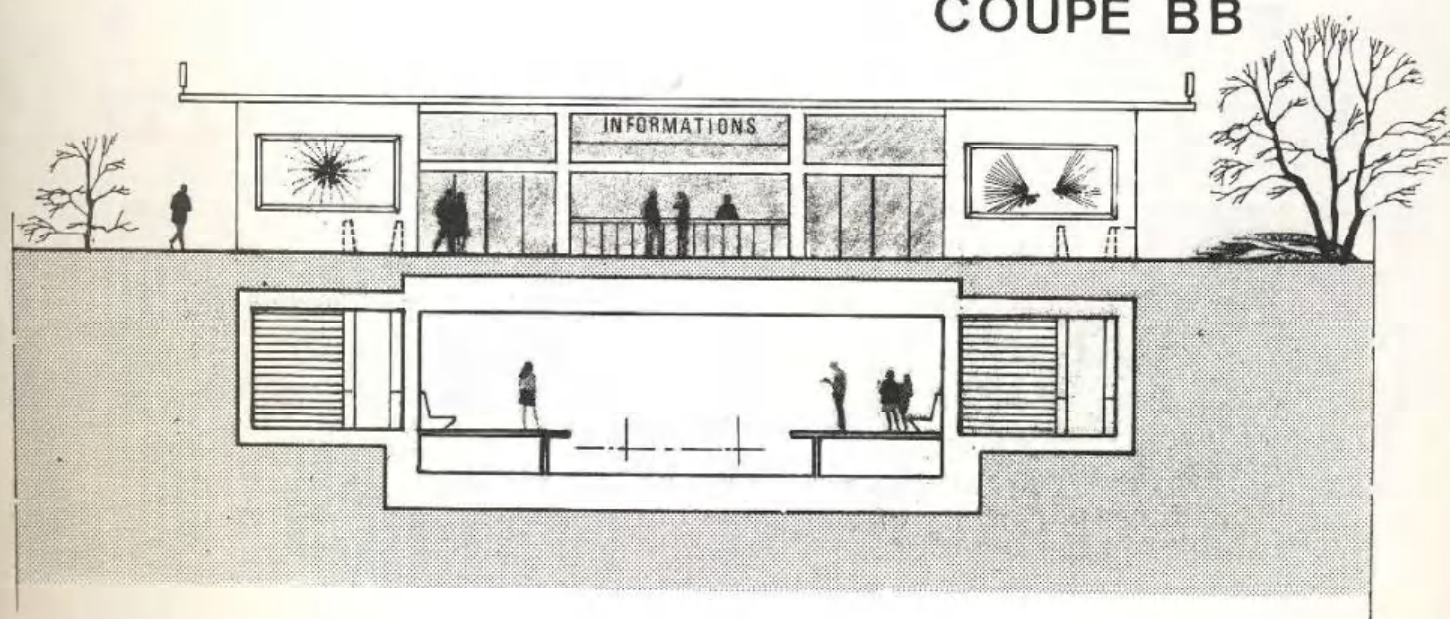


Fig : 31.11

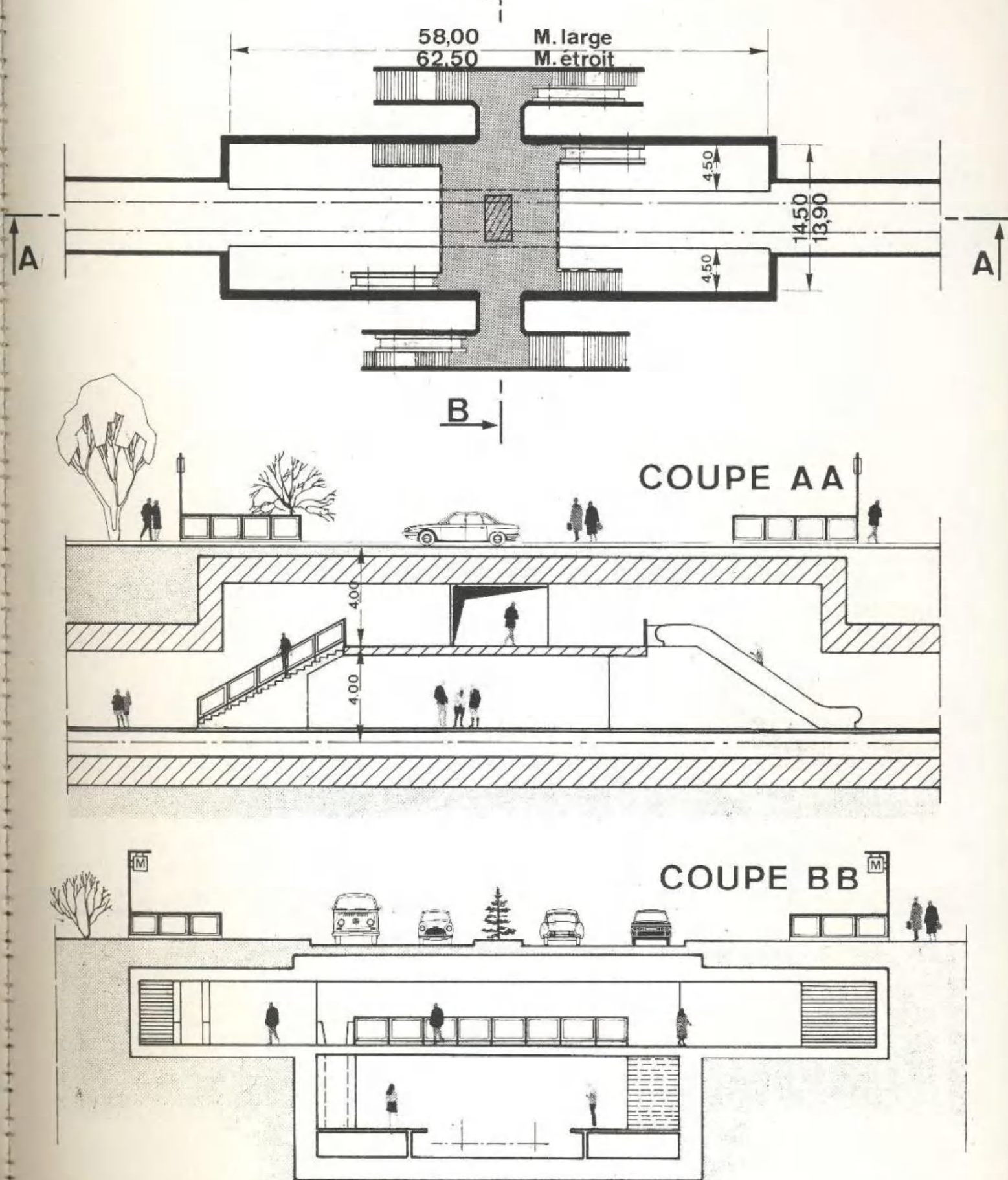
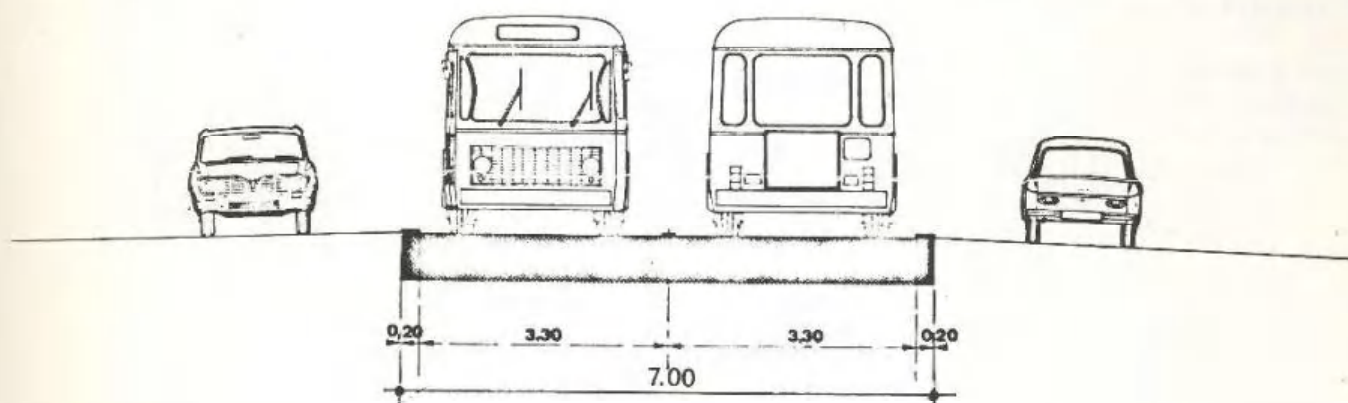
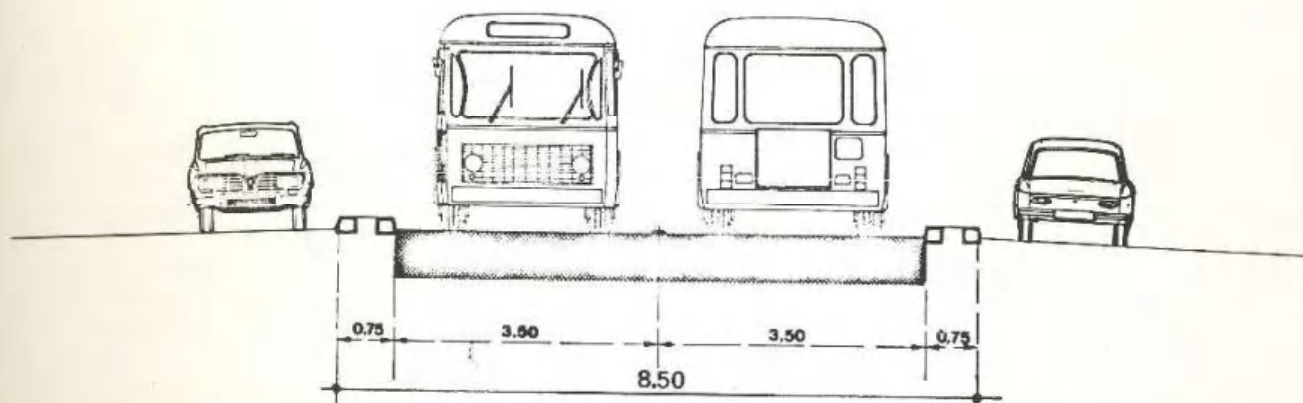


Fig : 31.12



EMPRISE MINIMALE

Fig . 31.13



EMPRISE NORMALE

Fig . 31.14

Ce système intermédiaire entre le tramway et l'autobus nécessite en section courante la même piste de roulement que celle de l'autobus et des équipements d'alimentation d'énergie (fil de contact, supports) équivalents à ceux du tramway du point de vue de leur encombrement.

La largeur minimale de l'emprise est donc de 7 m avec les fils de contact suspendus par ancrages dans les façades ou à des supports rejetés sur trottoirs (Fig. 31.15). Lorsque la largeur de l'emprise est au moins égale à 8,50 m, les supports peuvent être disposés dans la bande de protection (Fig. 31.16).

Au droit des stations, les emprises sont les mêmes que pour l'autobus.

3. 1. 5. - DEFINITION DES BESOINS DES AUTRES UTILISATEURS

Les utilisateurs de l'espace urbain, en dehors des transports publics, peuvent être classés en trois catégories :

- véhicules particuliers et camions
- deux roues
- piétons

3.1.5.1. - Véhicules particuliers et camions

Le gabarit des camions et autobus (hormis les convois exceptionnels) est au maximum de 18 m de long, 4 m de haut et 2,50 m de large.

Le dimensionnement normal des chaussées est caractérisé par :

- le type de circulation,
- le stationnement,
- les carrefours.

3.1.5.1.1. - Types de circulation

a/ Circulation générale

La circulation générale de pénétration et de transit emprunte des voies rapides parcourues à des vitesses supérieures à 60 km/h. Ces grands axes sont constitués par des rocadés situées à la périphérie des villes dans le but de protéger le centre urbain des circulations entre zones non centrales et par des voies de pénétration.

La capacité d'une chaussée à voies multiples est comprise entre 1400 et 1700 U.V.P. par heure et par voie, dans des conditions de circulation acceptables en comptant que le coefficient d'équivalence U.V.P. véhicule réel est de 0,5 pour un cycle, 1 pour un motocycle et, entre 2 et 8 pour un autobus ou un poids lourd suivant le profil en long de la chaussée.

Les différents éléments constitutifs de la plateforme d'une voie rapide sont précisés dans le tableau ci-après.

	LARGEUR MINIMALE	LARGEUR NORMALE
Isolateurs	1,00	1,50
Bande dérasée de droite	0,50	3,00
Voie d'une chaussée	3,00	3,50
Bande dérasée de gauche	0,50	2,00
Séparation	0,50	3,00

b/ Circulation de distribution

C'est une circulation entre quartiers de la ville ou entre la ville et les ro-cades périphériques. Elle s'effectue à une vitesse approchant 60 km/h sur des axes assez larges tels que les boulevards et les avenues avec de bonnes conditions de circulation : carrefours éloignés les uns des autres, feux coordonnés, peu de con-flits avec les piétons qui disposent souvent de passages dénivelés pour les tra-versées. Dans ces conditions, la capacité de ces voies est d'environ 1.400 U.V.P. par heure de feu vert et par voie, la chaussée étant composée de plusieurs voies de 3,00 m de largeur minimum.

c/ Circulation de desserte

Ce type de circulation est propre au centre urbain. Il s'effectue à vitesse lente sur des voies étroites et sinueuses encombrées par de nombreux véhicules de li-vraison gênés dans leur activité par les voitures en stationnement. Les véhicules tournant sont également en grand nombre et ne disposent pas de voies prévues à leur intention à cause de l'étroitesse des rues. D'autre part, les débits de pié-tons sont importants, ce qui nuit à la qualité de l'écoulement du trafic motorisé.

Dans ces conditions il est difficile d'apprécier la capacité de ces voies, cha-cune ayant ses caractéristiques. On peut estimer néanmoins qu'elle se situe au maximum à 350 U.V.P./heure de feu vert et par mètre de largeur.

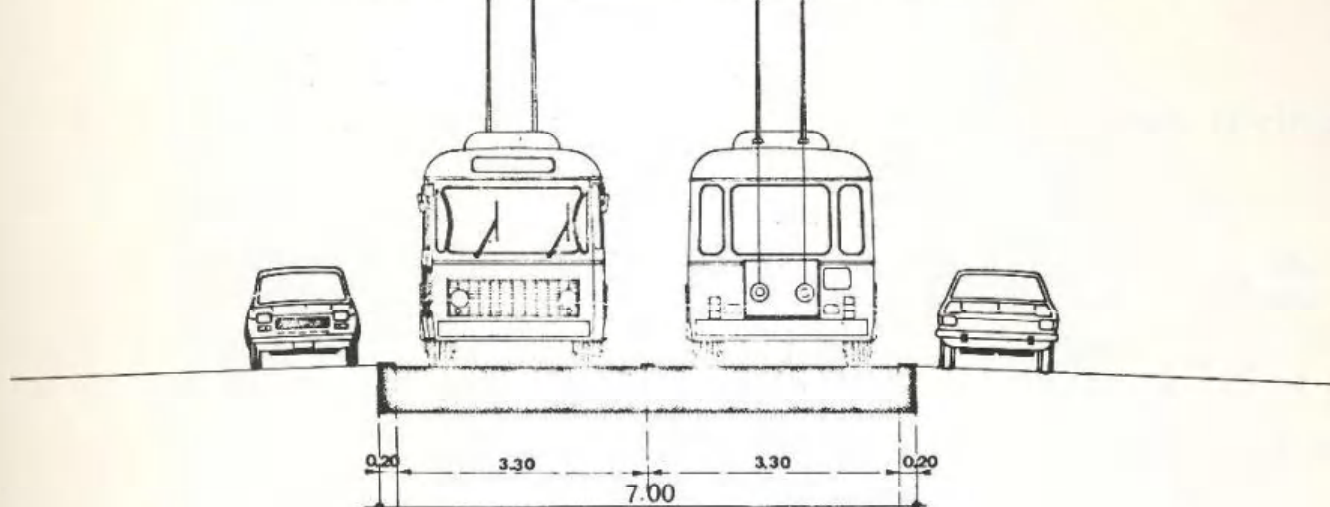
La largeur des voies des rues du centre ville est au minimum de 2,50 m dans le cas où il y a peu de camions.

3.1.5.1.2. - Stationnement

a/ Sur la chaussée

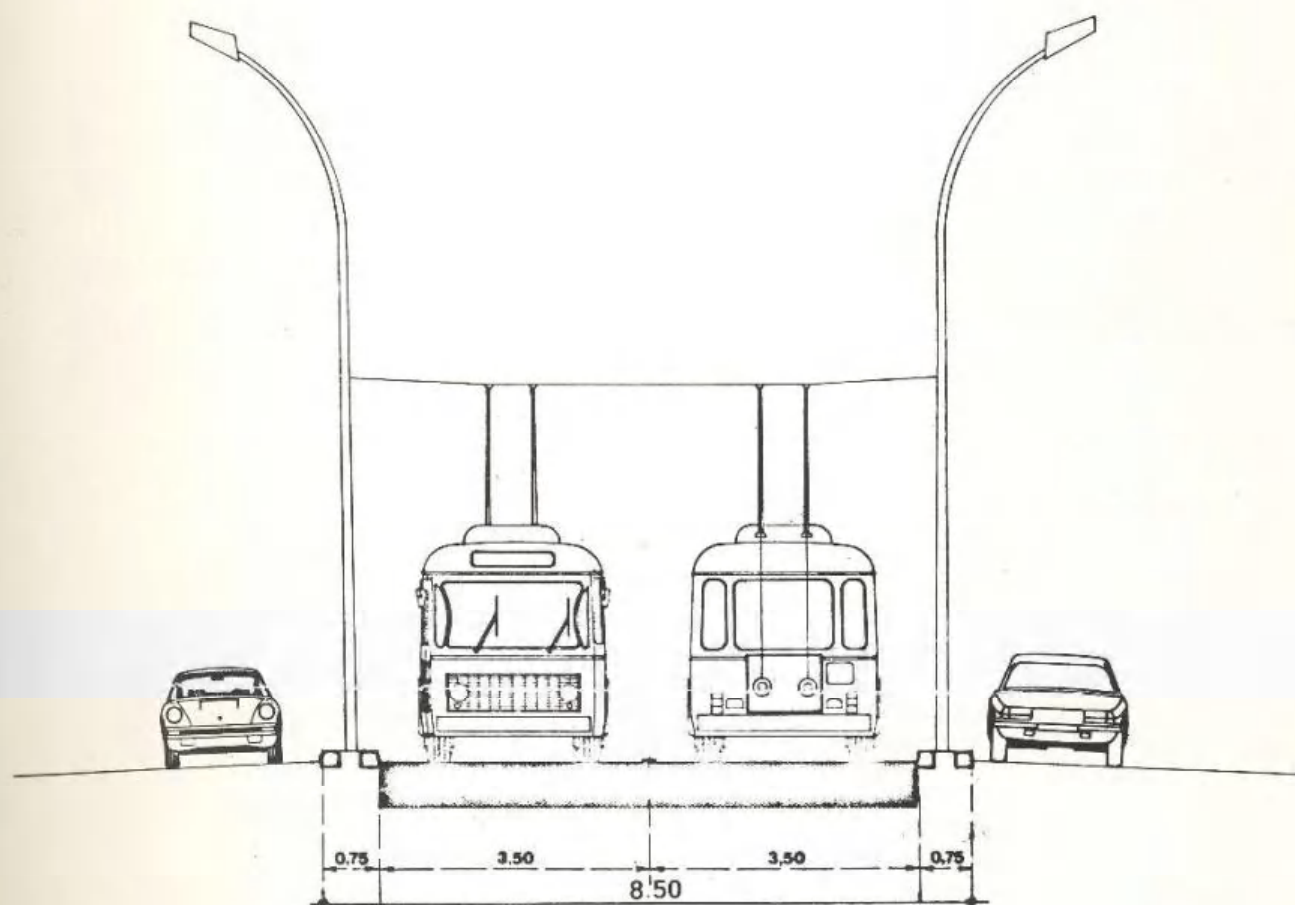
Le stationnement sur la chaussée devrait être de courte durée, le stationnement de longue durée devant s'effectuer en dehors de la circulation, dans les parcs spécialisés. La largeur de l'emprise dépend de la manière dont on dispose les véhicules.

- Le stationnement sur une bande parallèle à la rue nécessite une largeur mini-mum de 2,00 m. Il admet 14 V.P. sur 100 m.
- Le stationnement en épi à 45° occupe une bande de 4,50 m de large, chaque al-véole a une largeur de 2,30 m ce qui permet l'implantation de 31 V.P. sur 100 m.
- Le stationnement perpendiculaire à la chaussée nécessite une aire d'implanta-tion de 6 m de profondeur et 2,50 m de large. Dans ce cas, il faut ménager une



EMPRISE MINIMALE

Fig 31.15



EMPRISE NORMALE

Fig . 31.16

piste d'accès pour éviter que les voitures sortant de l'alvéole gênent la circulation. Ce type de stationnement permet 43 V.P. sur 100 m.

b/ sur voies latérales

Le dispositif est composé d'une piste à sens unique avec débouchés sur la voie de circulation tous les 200 m. Ces pistes ont une largeur de 7 m avec une voie centrale de 3 m et 2 files de stationnement longitudinal de 2 m chacune.

c/ Sur terre pleins latéraux

Les voitures stationnent à partir de la voie principale et ressortent par la voie latérale sans gêner la circulation.

3.1.5.1.3. - Carrefours à feux

Le temps passé à l'arrêt du fait des carrefours représente 60 % de la durée totale de trajet en milieu urbain. Ce sont donc les carrefours qui déterminent les capacités des voies urbaines. La capacité d'un carrefour dépend :

- des largeurs d'entrée des chaussées,
- de l'importance des courants tournants ; la moyenne est de 10 % de tourne-à-droite et 10 % de tourne-à-gauche,
- de la proportion des poids lourds, 5 % étant un pourcentage acceptable.

La capacité d'un carrefour s'exprime en U.V.P. directe par heure et par voie. Le coefficient d'équivalence U.V.P. du véhicule réel est de 0,2 pour un cycle, 0,5 pour un motocycle, 1 pour un véhicule léger et 2 pour un autobus ou un poids lourd. On détermine la capacité d'un carrefour en fonction du nombre de phases et de la durée du cycle.

Capacité pratique d'un carrefour : (U.V.P.D./h/VOIE)

Nombre de Phases	DUREE DU CYCLE EN SECONDES					
	50	60	65	70	80	90
2	950	1050	1075	1100	1150	1200
3	800	900	925	950	1000	1050
4	650	750	775	800	850	900

Le carrefour est à la limite de saturation quand le débit à écouler est supérieur de 16 % à la capacité pratique.

En coordonnant les feux sur un grand axe, on augmente la qualité de service :

- augmentation du débit par heure de feu vert
- resserement de la gamme des vitesses pratiquées

- diminution du nombre des accidents
- meilleure obéissance des piétons aux signaux

3.1.5.2. - Deux roues

A la suite des enquêtes "ménages" effectués dans les villes moyennes, on constate que les déplacements deux roues concernent de 25 % à 45 % des déplacements motorisés. Il est donc nécessaire d'étudier les aménagements en zone urbaine en vue d'assurer une meilleure sécurité des cyclistes.

3.1.5.2.1. - Circulation banalisée

Les cyclistes sont mêlés à la circulation générale, on admet qu'un cycliste équivaut à 0,25 U.V.P. On peut prévoir une surlargeur de la voie de droite de 1 m. pour faciliter la circulation des cycles.

3.1.5.2.2. - Bandes cyclables

La voie de droite a également une surlargeur de 1 m, mais la frontière entre les voitures et les cycles est matérialisée par une bande de peinture. Pour éviter les conflits cycles-V.P. aux carrefours réglés par feux, on peut arrêter les voitures 10 m avant le carrefour, les cyclistes prennent position devant les voitures et tournent en même temps qu'elles.

3.1.5.2.3. - Pistes cyclables

Les conditions de création des pistes sont réunies quand on a simultanément 2.000 véhicules/h et 500 cycles/h. La circulation des cycles et des voitures peut n'être séparée qu'en partie courante pour redevenir banalisée aux carrefours. On peut aussi les séparer totalement grâce à des passages dénivelés.

Dans le cas d'une circulation unidirectionnelle, la piste à une voie a une largeur de 1 m ; dans le cas d'une piste à deux voies, on prévoit une largeur de 1,70 m. Dans les deux hypothèses la bande de sécurité entre la piste et la chaussée a une largeur de 0,70 m.

Si la circulation est bidirectionnelle on plante une piste de 3 m séparée de la chaussée par une bande d'une largeur minimum de 0,70 m.

3.1.5.3. - Piétons

La marche représente 38 à 45 % des déplacements dans les villes moyennes. On constate que l'espace piétonnier est dégradé par :

- l'accroissement du trafic automobile
- les besoins de stationnement
- les exigences d'exploitation de la circulation motorisée, entraînant la multiplication du "mobilier urbain".

3.1.5.3.1. - Vitesse et débit

La vitesse des piétons est différente suivant l'objet de leurs déplacements. Les vitesses moyennes sont les suivantes :

- trajet domicile travail 1,2 à 1,6 m/s

- trafic dans une rue commerçante 0,8 à 1,2 m/s.

Pour une marche agréable dans une rue commerçante, il faut compter 500 piétons par heure et par mètre de largeur de trottoir, alors que dans un passage souterrain, non commercial, on admet 3.000 piétons par heure et par mètre de largeur, soit une densité de 1 à 2 piétons au mètre carré.

3.1.5.3.2. - Trottoirs

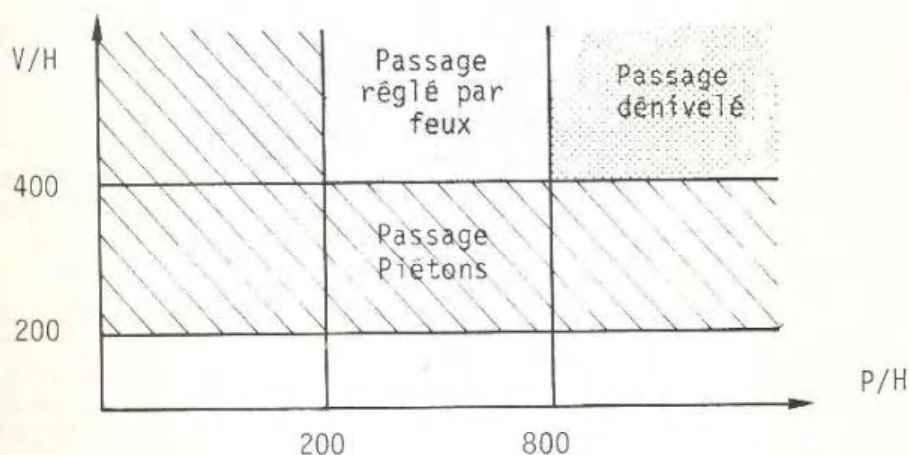
Les trottoirs et terre-pleins devraient représenter 40 % de l'emprise totale. Si la largeur d'un trottoir est supérieure à 10 m, la chaussée est trop éloignée des immeubles et les camions de livraison montent sur les trottoirs. La largeur minimum doit permettre le croisement de deux voitures d'enfants et l'implantation du mobilier "urbain", ce qui conduit à une emprise de 2,50 m de largeur.

3.1.5.3.3. - Traversée des chaussées

La traversée des chaussées est possible :

- sans aucun aménagement
- sur passage piétons simples
- sur passage réglé par des feux
- sur passage dénivelé

Le type de traversée à retenir dépend du débit de la circulation des voitures et du trafic des piétons.



Les passages inférieurs sont en général préférables aux passages supérieurs malgré leur coût. En effet, si on prend la traversée à niveau comme base, un P I imposera une dénivellation de 3 m et nécessite une dépense d'énergie multipliée par 6 alors qu'un P S inflige une dénivellation de 5 m et demandera 9 fois plus d'énergie qu'une traversée à niveau.

3.1.5.3.4. - Espace réservé aux piétons

On implante ces espaces dans deux parties de la ville :

- au centre ville dans des rues commerçantes également animées le soir

- trafic dans une rue commerçante 0,8 à 1,2 m/s.

Pour une marche agréable dans une rue commerçante, il faut compter 500 piétons par heure et par mètre de largeur de trottoir, alors que dans un passage souterrain, non commercial, on admet 3.000 piétons par heure et par mètre de largeur, soit une densité de 1 à 2 piétons au mètre carré.

3.1.5.3.2. - Trottoirs

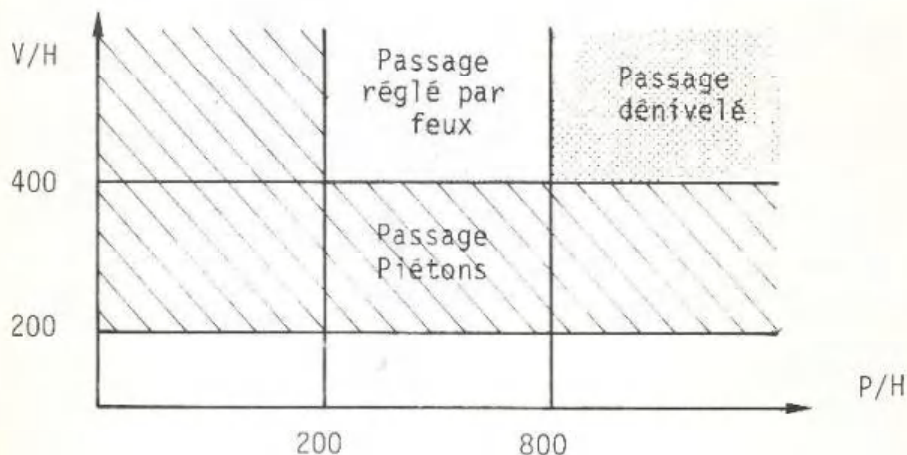
Les trottoirs et terre-pleins devraient représenter 40 % de l'emprise totale. Si la largeur d'un trottoir est supérieure à 10 m, la chaussée est trop éloignée des immeubles et les camions de livraison montent sur les trottoirs. La largeur minimum doit permettre le croisement de deux voitures d'enfants et l'implantation du mobilier "urbain", ce qui conduit à une emprise de 2,50 m de largeur.

3.1.5.3.3. - Traversée des chaussées

La traversée des chaussées est possible :

- sans aucun aménagement
- sur passage piétons simples
- sur passage réglé par des feux
- sur passage dénivelé

Le type de traversée à retenir dépend du débit de la circulation des voitures et du trafic des piétons.



Les passages inférieurs sont en général préférables aux passages supérieurs malgré leur coût. En effet, si on prend la traversée à niveau comme base, un P I imposera une dénivellation de 3 m et nécessite une dépense d'énergie multipliée par 6 alors qu'un P S inflige une dénivellation de 5 m et demandera 9 fois plus d'énergie qu'une traversée à niveau.

3.1.5.3.4. - Espace réservé aux piétons

On implante ces espaces dans deux parties de la ville :

- au centre ville dans des rues commerçantes également animées le soir

- dans les zones résidentielles, entre les immeubles pour protéger les piétons de la circulation automobile.

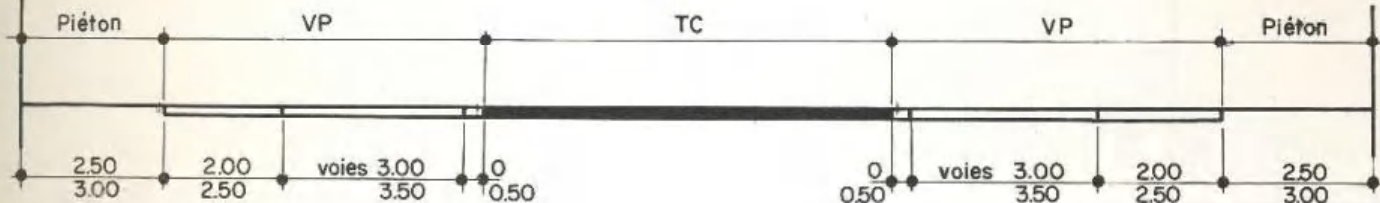
3.1.6. - ORGANISATION DE L'ESPACE VIAIRE

Dans la recherche de percées utilisables pour les sites propres, le premier stade consiste à définir les largeurs minimales requises pour insérer la plateforme de transport public. Celle-ci est dans ce cas systématiquement celle qui correspond à la disposition minimale. En outre on considère que les "deux roues" n'ont pas de piste réservée. A partir des dispositions représentées ci-après, il est facile de déduire les modifications qui résulteraient de l'insertion d'une emprise normale pour le transport public et de l'installation de pistes réservées aux "deux roues".

3.1.6.1. - Plateforme courante

La position de l'emprise dépend du tissu urbain desservi et du type de circulation de véhicules particuliers. Elle peut être médiane, latérale ou bilatérale.

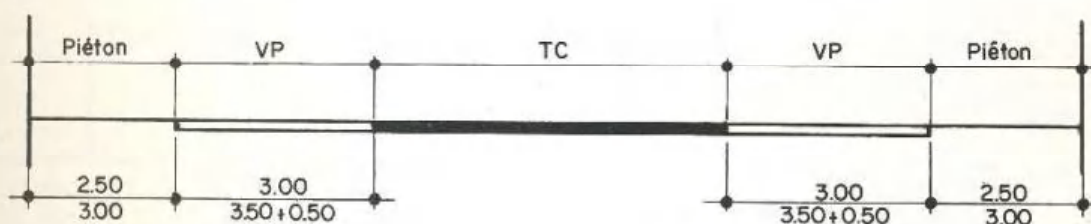
POSITION DE L'EMPRISE	AVANTAGES	INCONVENIENTS
MEDIANE	Emprise totale minimale Points de conflit réduits Sécurité vis à vis des piétons	Déviation des voies de circulation au niveau des stations
UNILATERALE	Points de conflits en nombre réduit	Desserte des riverains sur un côté. Nécessité d'un cheminement secondaire. Emprise supérieure. Nuisances aux heures creuses.
BILATERALE	Courants de circulation non déviés (quais sur les trottoirs)	Emprise maximale. Nécessité de 2 cheminements secondaires. Nuisances maximales Multiplication des points de conflits



				Tramway		Autobus	Trolleybus
				Matériel large	Matériel étroit		
Infrastructure TC à double sens	Emprise totale minimale	Avec stationnement	1 voie VP	21.00	20.40	22.00	22.00
			2 voies VP	27.00	26.40	28.00	28.00
		Sans stationnement	2 voies VP	23.00	22.40	24.00	24.00
	Emprise totale normale	Avec stationnement	1 voie VP	27.00	26.40	27.50	27.50
			2 voies VP	34.00	33.40	34.50	34.50
		Sans stationnement	2 voies VP	29.00	28.40	29.50	29.50

POSITION CENTRALE

Fig. 31-17



En emprise minimale on ne conserve qu'une bande de circulation ou de stationnement.

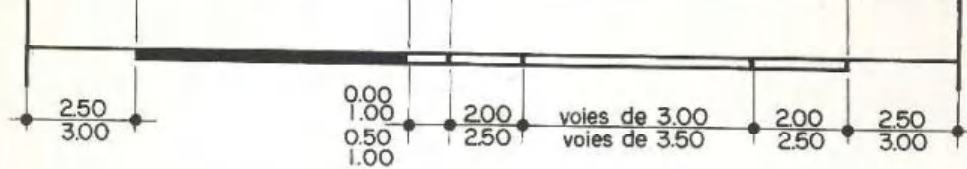
		Tramway		Autobus	Trolleybus
		Matériel large	Matériel étroit		
Infrastructure TC à double sens	Emprise totale minimale	14.00 TC - 6.00	13.40 TC - 5.40	15.00 TC - 7.00	15.00 TC - 7.00
	Emprise totale normale	22.00 TC - 8.00	21.40 TC - 7.40	22.50 TC - 8.50	22.50 TC - 8.50
Infrastructure TC à sens unique	Emprise totale minimale	11.20 TC - 3.20	10.90 TC - 2.90	11.70 TC - 3.70	11.70 TC - 3.70
	Emprise totale normale	18.50 TC - 4.50	18.20 TC - 4.20	18.50 TC - 4.50	18.50 TC - 4.50

NOTA - Au droit d'une station il y a redistribution des bandes spécifiques

RUE PIÉTON

(Circulation et stationnement réglementés)

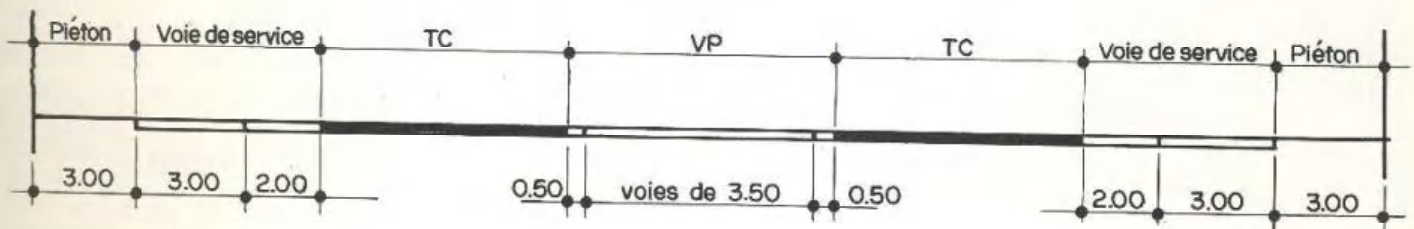
Fig. 31-18



				Tramway		Autobus	Trolleybus
				Matériel large	Matériel étroit		
Infrastructure TC à double sens	Emprise totale minimale	Avec stationnement	1 voie VP	16.00	15.40	17.00	17.00
			2 voies VP	22.00	21.40	23.00	23.00
		Sans stationnement	2 voies VP	17.00	16.40	18.00	18.00
	Emprise totale normale	Avec stationnement	1 voie VP	20.50	19.90	21.00	21.00
			2 voies VP	27.00	26.40	27.50	27.50
		Sans stationnement	2 voies VP	21.50	20.90	22.00	22.00
Infrastructure TC à sens unique	Emprise totale minimale	Avec stationnement	1 voie VP	13.20	12.90	13.70	13.70
			2 voies VP	19.20	18.90	19.70	19.70
		Sans stationnement	2 voies VP	14.20	13.90	14.70	14.70
	Emprise totale normale	Avec stationnement	1 voie VP	17.00	16.70	17.00	17.00
			2 voies VP	23.50	23.20	23.50	23.50
		Sans stationnement	2 voies VP	18.00	17.70	18.00	18.00

POSITION UNILATERALE

Fig. 31.19



		Tramway		Autobus	Trolleybus
		Matériel large	Matériel étroit		
Emprise totale normale	3 voies VP	36.50	35.90	36.50	36.50
	4 voies VP	40.00	39.40	40.00	40.00

POSITION BILATERALE

Fig. 31.20

REMARQUES

Toutes ces positions ne sont pas indépendantes du nombre de sens de circulation. Ainsi la plateforme n'est jamais médiane dans une rue à sens unique ; d'autre part elle n'est en principe jamais à voie unique dans une rue à double sens car il est préférable de mettre la rue à sens unique pour que la plateforme de site propre soit à deux voies.

La création d'un ou de deux cheminement secondaires n'est valable que si l'on considère que les voies de circulation sont séparées de l'emprise T.C. par une bande de stationnement.

La desserte des riverains lorsque le site propre est en position latérale peut être envisagée par des circulations secondaires ce qui a pour inconvénient d'augmenter sensiblement l'emprise totale et de multiplier les traversées de site propre donc les flux de signalisation.

La position centrale convient en jumelage d'une voie rapide urbaine et d'une ligne de transport en commun. Elle est également utilisée dans une rue piétonne.

La position latérale peut être envisagée le long d'une autoroute ou en périphérie de la ville lorsque l'infrastructure longe une zone où il y a un nombre réduit d'entrées de véhicules chez les riverains.

La position bilatérale est surtout utilisable dans le cas d'une emprise très large où l'on peut disposer des chaussées de circulation de desserte encadrant le site propre de transport collectif.

Ces positions en section courante sont représentées par les figures 31.17 à 31.20 qui donnent le découpage transversal de l'emprise publique et indiquent, pour chaque position et pour chaque type de véhicule de transport collectif une emprise minimale et une emprise normale de section courante.

L'emprise minimale est obtenue en cumulant les besoins minimaux de chaque utilisateur concerné dans la mesure où les circulations sont séparées. Ces emprises minimales sont donc valables pour traiter des points durs, mais l'ensemble du système proposé est très rigide. L'emprise normale en section courante permet d'assurer les différentes fonctions dans de bonnes conditions.

3.1.6.2. - Section en station

La station du site propre introduit une discontinuité dans la largeur de l'emprise. L'intégration de la station en site urbain dense, lorsqu'elle ne peut bénéficier d'une surlargeur locale (place, carrefour), pose deux problèmes :

- comment réduire la surlargeur au minimum ?
- de quelle façon obtenir cette surlargeur minimale ?

Si la ligne est en position bilatérale, les quais sont sur trottoir. Il en est de même pour l'un d'eux si la ligne est en position latérale. La largeur minimale du trottoir (2,50 m) peut être conservée si le trafic de la station n'est pas trop important.

Lorsque le quai "mord" sur la chaussée, il faut envisager les possibilités suivantes :

- passage d'un dimensionnement normal en section courante à un dimensionnement

minimal pour un ou plusieurs utilisateurs, au droit de la station ; exemple :
voie de roulement V.P. réduite de 3,50 m à 3,00 m.

- suppression locale du stationnement.

Dans tous les cas il vaut mieux que la ligne de transport collectif ne subisse pas de déviations entraînant un tracé sinueux préjudiciable au confort et affectant la vitesse commerciale.

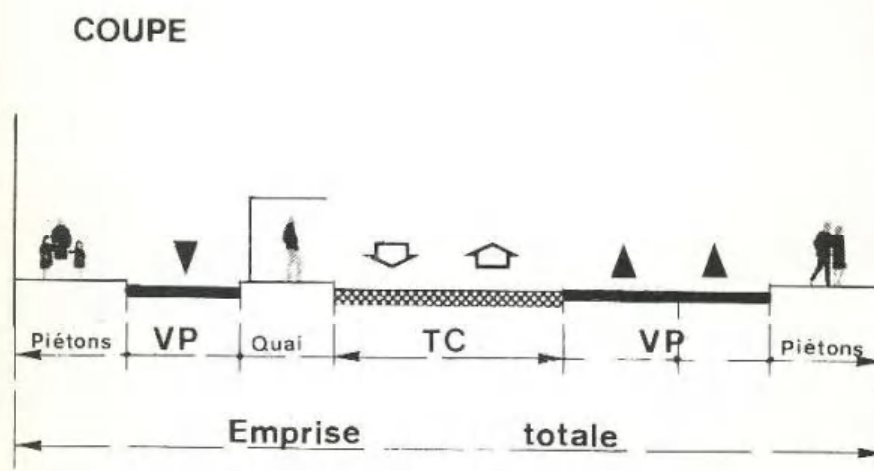
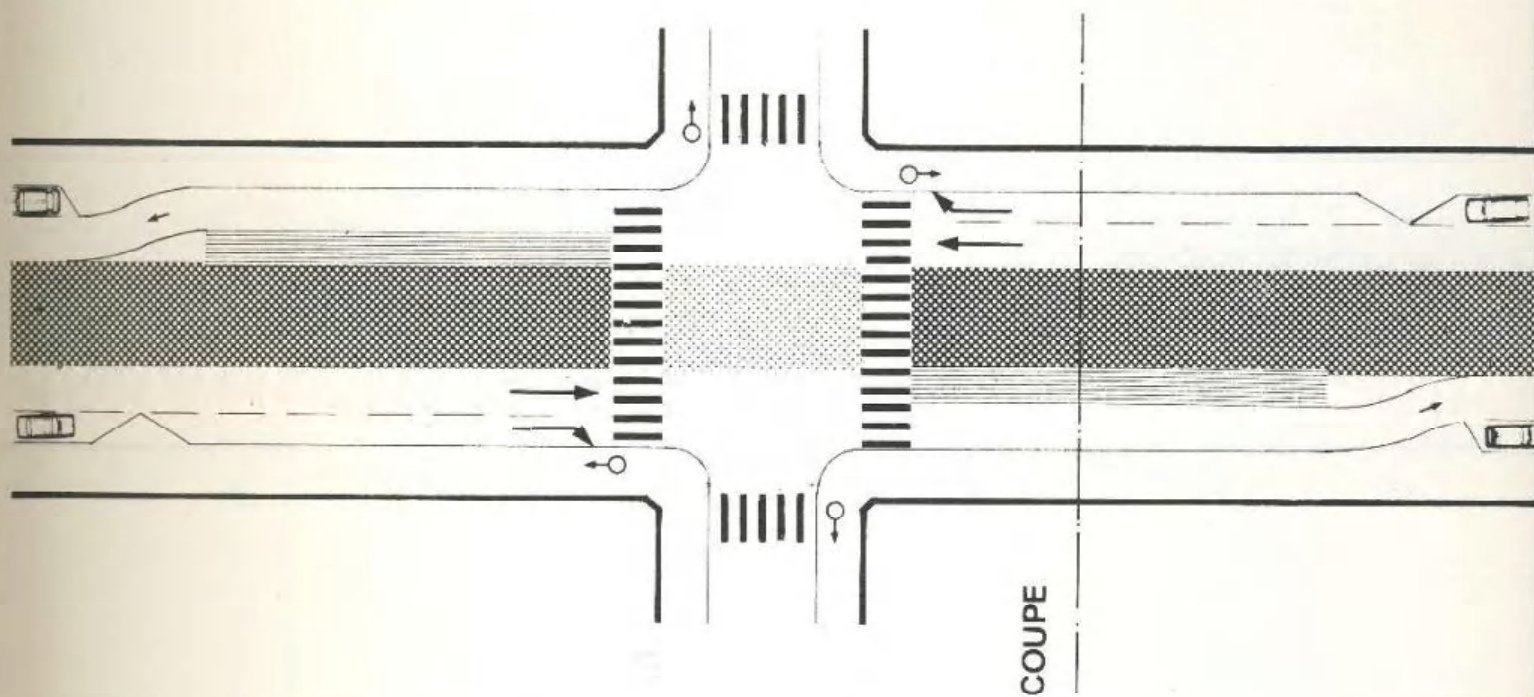
Pour une infrastructure située au milieu de la voirie, les stations sont à quais décalés ce qui réduit la surlargeur nécessaire. Le cas le plus fréquent qui se présente est celui de l'insertion d'une station au droit d'un carrefour ce qui permet une meilleure desserte du quartier. Les quais peuvent être situés en amont du carrefour ou en aval. Le choix dépend de plusieurs facteurs :

- type de priorité donné au transport collectif
- possibilité de supprimer le stationnement
- système de régulation des feux permettant la traversée des piétons au moment où le transport collectif arrive en station.

Par exemple pour une station située à un carrefour avec des tourne-à-gauche sans possibilité de supprimer les stationnements latéraux sur 50 à 100 m en amont, les quais sont situés en aval. Une telle disposition permet de dégager en amont une voie de tourne-à-gauche.

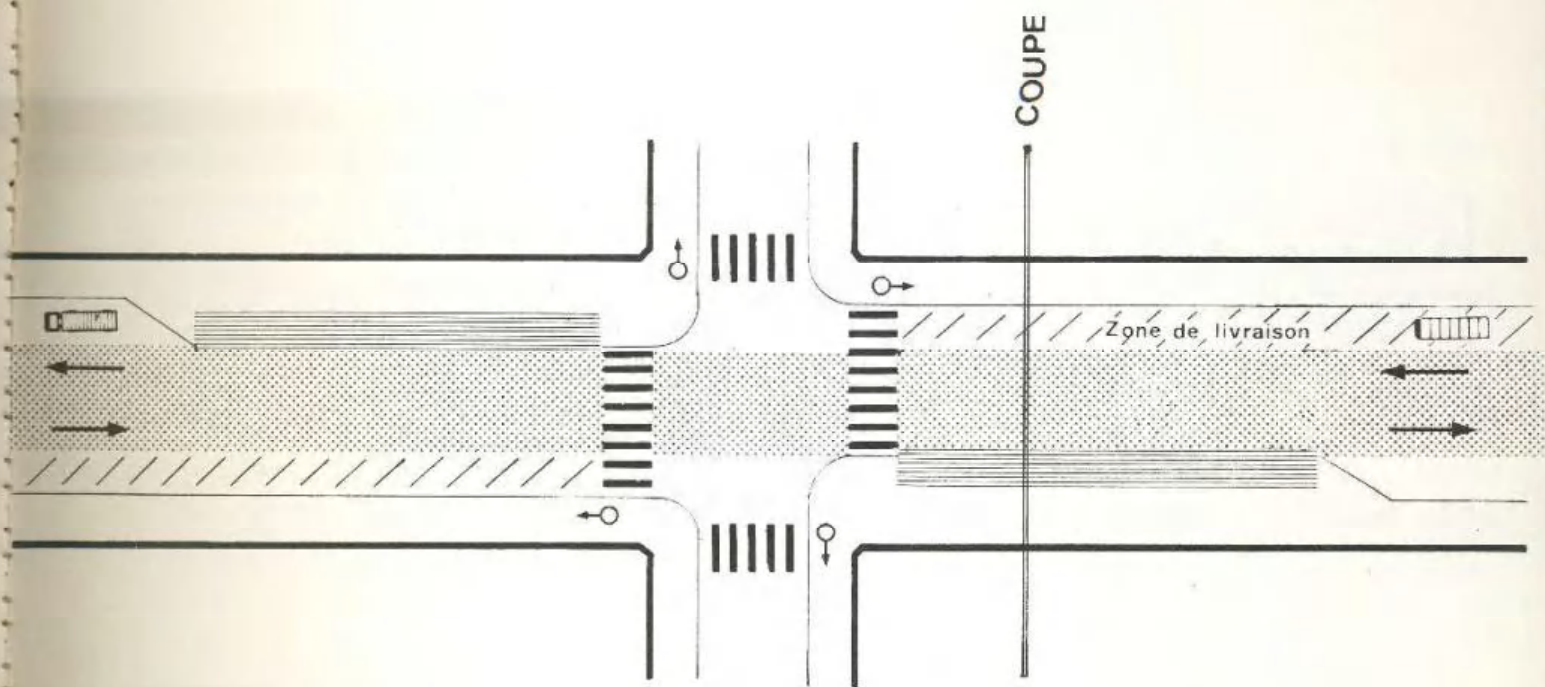
Les figures 31.21 à 31.24 représentent par type d'infrastructure, les dispositions tenant compte de l'ensemble des utilisateurs lorsque l'emprise disponible entre façade est constante (lorsqu'on ne bénéficie pas de surlargeur occasionnelle).

En règle générale le stationnement doit être supprimé au niveau de la station.

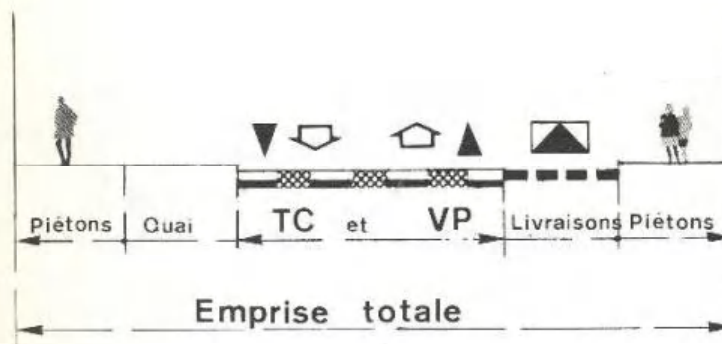


POSITION LATÉRALE

Fig. 31.21

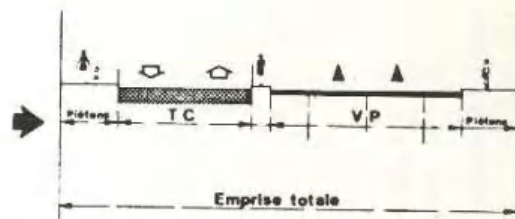
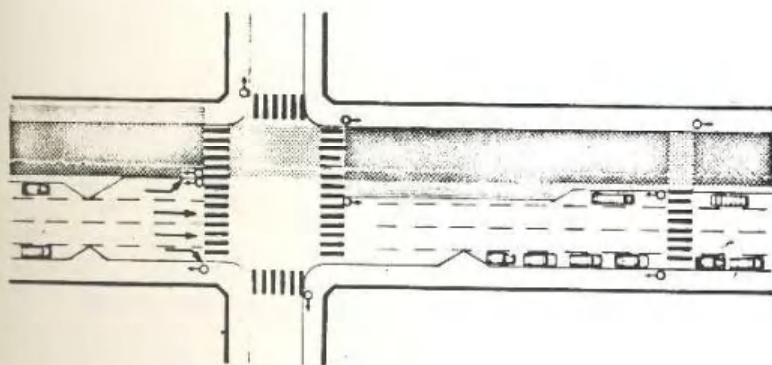
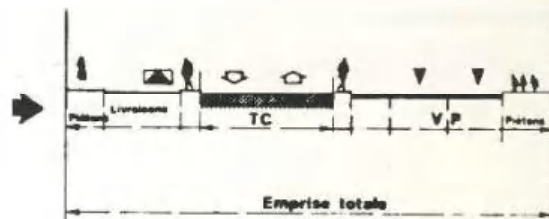
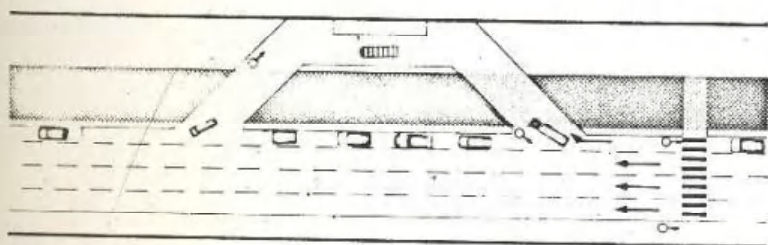
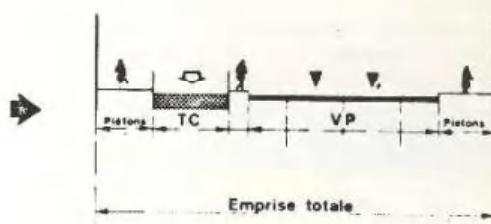
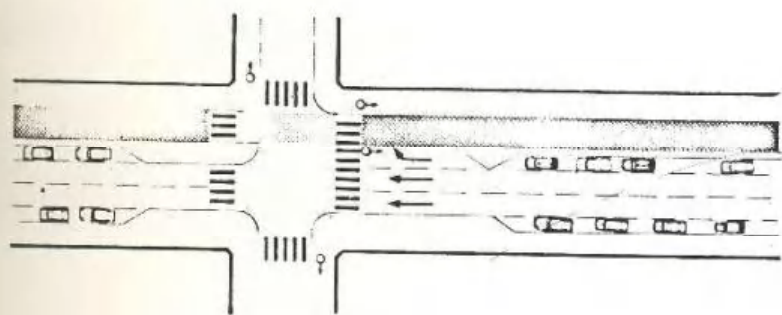


COUPE



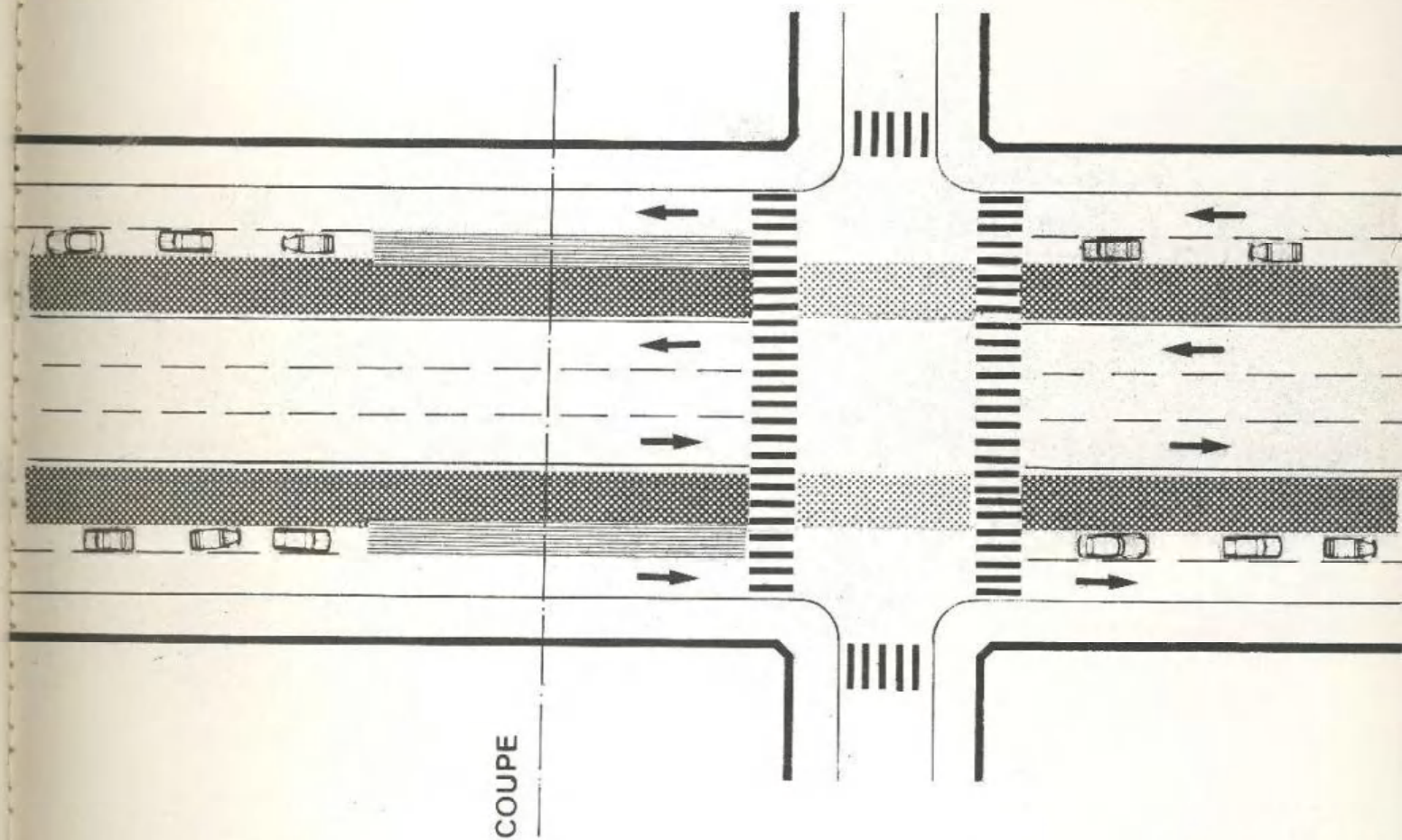
RUE PIETON

Fig . 31.22

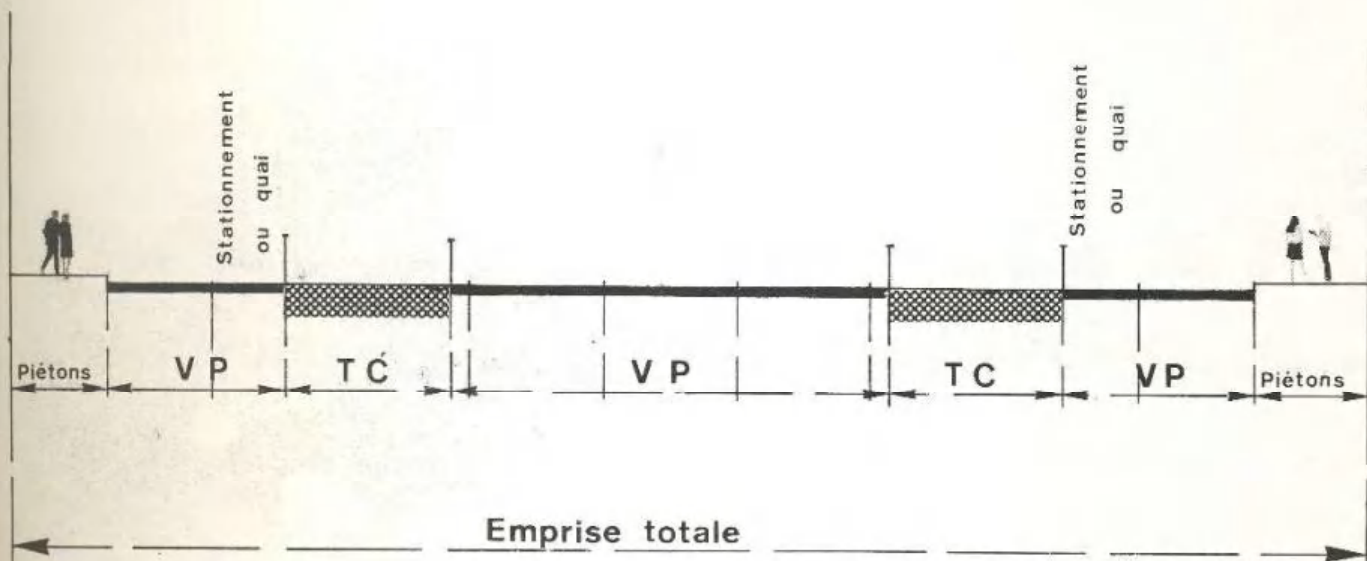


POSITION LATÉRALE

Fig. 31.23



COUPE



POSITION BILATERALE

Fig. 31.24

CHAPITRE 3. 2. - EXPLOITATION ET CONFLITS ENTRE CIRCULATIONS

3.2.1. - GENERALITES

L'insertion d'une ligne de transport public en site propre dans la voirie est intéressante au double point de vue du coût d'investissement et de la qualité de service. Sur le second point en effet, l'intérêt qu'il y a pour le voyageur de circuler au niveau du sol et de se retrouver de plain pied dès sa descente du véhicule, sont des facteurs importants d'attractivité du transport public. Mais en contrepartie cette insertion implique des problèmes d'exploitation de la voirie assez nouveaux.

On pourrait penser que la plupart de ces problèmes ont été résolus dans les villes où un réseau de tramway a été conservé. Mais en réalité, tous les réseaux de tramway existants étaient à l'origine conçus pour une circulation dans la rue. Ils n'étaient sur plateforme réservée que lorsque la largeur des voies le permettait. En règle générale, ou bien ils sont restés dans la rue et bénéficient plus ou moins de réservations de même nature que les lignes d'autobus (piste réservée sur certains tronçons mais pas de façon systématique et continue), ou bien ils ont été dénivelés. L'idée d'une ligne complètement protégée au niveau du sol est actuellement en train d'émerger mais il n'existe pas de réalisation achevée, fonctionnant depuis un certain temps et pouvant par conséquent servir de modèle. Du moins nous n'avons pas connaissance d'une réalisation de ce type et en ce sens il s'agit d'un problème nouveau, à l'étude ou en cours de mise en oeuvre dans plusieurs pays.

Une seconde raison pour laquelle ce problème est nouveau, c'est que les moyens utilisés pour l'exploitation de la circulation dans les villes ont subi une mutation dans les années récentes avec la mise en oeuvre de techniques de gestion centralisée du trafic. L'intrusion d'un élément nouveau, le véhicule de transport public sur site propre, se fait dans un contexte radicalement différent de ce qu'il aurait été quelques années plus tôt.

Des réalisations en cours de développement, il ressort deux observations générales :

- dès lors que l'insertion géométrique peut être réalisée, les conflits entre divers types de circulation peuvent toujours trouver une solution.
- les problèmes posés par la gestion de l'ensemble "circulation V P, transport public, piéton", sont une succession de cas d'espèce dont la solution demande une attitude pragmatique. C'est un art tout d'exécution.

Ces deux observations limitent la portée de ce chapitre dans lequel on s'est limité aux principes généraux qui doivent guider la mise en oeuvre.

3.2.2. - CONFLITS AVEC LA CIRCULATION AUTOMOBILE

3.2.2.1. - Circulation et stationnement

On a coutume de traiter les problèmes de capacité de voirie en ne prenant en compte que les véhicules en circulation. Il a été indiqué précédemment que la capacité de la voirie urbaine était de 350 U.V.P. par mètre de largeur de rue et par heure de feu vert, ce qui revient à admettre, en moyenne, c'est-à-dire en comptant 45 % du temps en feu vert (phases égales) environ 160 U.V.P. par mètre de largeur et par heure. Ainsi, une voiture individuelle, pour parcourir 1 km "consomme" l'équivalent de 6,25 m² X heure puisque sur une bande de 1.000 m X 1 m de chaussée, il peut transiter en une heure 160 voitures (où si l'on préfère sur une voie de 3 m, 480 voitures).

Mais à partir d'un certain volume de circulation, le véhicule supplémentaire qui se déplace dans la voirie vient de stationner, ou va stationner le long d'un trottoir (les parkings hors voirie étant insuffisants dans les zones encombrées). Il a donc, (ou il va) contribuer à réduire la surface circulaire en s'appropriant, en moyenne pendant 2 ou 3 heures, une superficie de 10 m² : il "consomme" 20 à 30 m² X heure en stationnant, et par conséquent pour chaque déplacement. Si donc le parcours dans la zone encombrée est de 3 ou 4 km au total, le véhicule aura "consommé" autant de "surface X temps", soit 25 m² x h pour stationner que pour circuler.

Ce concept de consommation de surface X temps est essentiel pour bien saisir que, *dans un contexte de pénurie de surface de circulation*, le débit de la voirie est très inférieur à celui qui résulte de l'observation directe des flux, la moitié pour fixer les idées. Il faut avoir cette idée présente à l'esprit pour imaginer dans quels termes se présente le conflit de capacité entre transport public en site propre sur voirie et voiture particulière.

3.2.2.2. - "Conflit de capacité"

L'insertion d'un site propre sur une voie déjà saturée de voitures particulières n'est pas concevable dans une optique qui suppose à priori que le maximum de déplacements s'effectue par la voiture particulière. Dans ces conditions, en effet, il ne peut être créé de site propre en voirie que lorsque la chaussée est sous utilisée, c'est-à-dire là où le site propre est le moins utile.

Par contre, si l'on raisonne en déplacements de personnes et non en circulation de véhicules, le seuil d'efficacité du site propre, en terme de capacité, est très bas.

Lorsqu'elle est utilisée essentiellement par les voitures particulières, la capacité de la voirie urbaine ordinaire est en moyenne de 350 U.V.P. par mètre de largeur et par heure de feu vert. Comme dans un cas moyen le pourcentage de feux vert est de 45 % (deux phases égales) et le taux de remplissage des véhicules de 1,3, la capacité de la voirie urbaine est voisine de 200 personnes transportées par heure pour chaque mètre de largeur de voie de circulation.

Mais lorsque l'automobile constitue le moyen essentiel de déplacement autre qu'à pied, la voirie est utilisée en partie par le stationnement, ou par des véhicules arrivés à destination mais cherchant une place de stationnement. La surface de chaussée neutralisée est variable mais nous avons vu qu'à partir d'un certain seuil de trafic, chaque voiture qui circule "consomme" deux fois plus de surface qu'il apparaît à priori. Pour la circulation en voitures particulières, la capa-

cité marginale de la voirie en personnes transportées, n'est que de 100 personnes par mètre de largeur et par heure. L'espace de circulation est 30 fois moins bien utilisé par l'automobiliste que par le piéton (3.000 par heure et par mètre de trottoir) et de 130 à 50 fois moins bien utilisé que par le voyageur en transport public (10 à 15.000 par heure pour une piste de 3 m). En dehors des aspects sociaux, l'essentiel du problème des transports urbains se trouve dans cette constatation.

Sur un itinéraire donné, il suffit donc que l'insertion d'un *site propre continu* attire à l'heure de pointe plus de 270 à 350 voyageurs (suivant la largeur de la plateforme de voie double : 5,40 m ou 7,00 m) qui, autrement, se seraient déplacés en automobile, pour que la capacité de la voirie *en personnes transportées* soit augmentée. Dès que ce seuil est atteint, l'insertion d'un *site propre continu en voirie* équivaut à un élargissement de l'axe emprunté.

Bien entendu, la réalité est plus complexe. Si cette approche, qui utilise implicitement l'analogie bien connue des déplacements de véhicule avec l'écoulement d'un fluide dans un réseau, est utile pour la représentation globale du phénomène, elle est insuffisante. En particulier, la variation du nombre des déplacements pendant la journée et de la proportion des motifs de déplacement, introduit d'importantes distorsions.

S'agissant de la zone centrale par exemple, l'accessibilité par voiture particulière est fonction, suivant l'heure, soit de la capacité des voies d'accès, soit de la capacité de stationnement. En diminuant le nombre de voitures particulières qui pénètrent dans la zone centrale pour le trajet domicile-travail, la réalisation du site propre, qui conditionne la promotion du transport public, permet d'améliorer l'accessibilité par automobile pour certains types de déplacements tels que les achats, car elle évite l'appropriation des places de stationnement par les migrants domicile-travail.

3.2.2.3. - Les conflits aux carrefours

Pour un site propre, l'intersection ou la jonction avec un autre axe constitue un hiatus inévitable et le blocage au carrefour la pierre d'achoppement du système.

L'idée de déniveler à priori la ligne aux carrefours dès que les voies transversales écoulent un trafic V.P. important doit être écartée. En effet, une trémie doit avoir de 120 à 150 m de longueur. Comme près du centre ville les carrefours importants sont distants de quelques centaines de mètres, faire des passages souterrains pour le franchissement des carrefours encombrés, conduit à une succession d'ouvrages très vite aussi onéreux qu'un souterrain continu. La dénivellation à un carrefour ne peut donc être qu'une solution exceptionnelle pour la traversée d'une voie rapide très fréquentée. La circulation dénivelée peut d'ailleurs être celle qui croise le transport public.

Il est illusoire d'escompter que le transport public au sol puisse être complètement soustrait aux aléas de la circulation. L'objectif doit être de les lui épargner dans la mesure du possible. L'observation des solutions adoptées dans différentes villes conduit à définir deux types de mesures efficaces pour résoudre le problème des carrefours :

- la suppression des tourne-à-gauche dans les carrefours où la configuration des lieux ne permet pas de les organiser sans gêne pour la ligne en site propre,
- la matérialisation par une signalisation au sol (bandes blanches obliques)

de l'emprise du transport public sur la traversée du carrefour. Les voitures particulières ne sont autorisées à pénétrer sur cette emprise pour la traverser que si l'espace en avant d'elles est suffisant pour que l'emprise du transport public puisse être franchie sans arrêt ; le respect de cette obligation exige évidemment un certain contrôle de police.

On observera à ce sujet que le tramway, par son apparence et la fixité de sa trajectoire, impose un respect plus grand de son domaine de circulation que les véhicules non guidés.

3.2.2.4. - La priorité aux carrefours pour le transport public

La priorité de passage aux carrefours est une mesure complémentaire indispensable à la réalisation d'un axe de transport efficace. En effet, dans une situation moyenne, le nombre de carrefours à feux rencontré par une ligne de transport est du même ordre de grandeur que le nombre de stations. Imposer la loi commune au transport public revient à augmenter les temps de parcours de 20 à 40 %, ce qui non seulement pénalise les voyageurs, mais augmente les *investissements en matériel roulant* et les *dépenses de personnel d'exploitation* dans la même proportion.

Par contre, la priorité au transport public est sans conséquence importante sur les temps de parcours en véhicule particulier si la fréquence de passage de l'autobus, du trolleybus ou du tramway n'est pas trop élevée.

Sans qu'il soit possible de fixer un seuil précis dans un domaine où intervient un grand nombre de facteurs, il semble que lorsque l'intervalle moyen de passage des véhicules de transport public n'est pas inférieur à la durée d'un cycle de feux, la mise en place d'un système de priorité ne perturbe pas sensiblement les autres circulations. Compte tenu du double sens de circulation, le nombre de passages par sens est donc au maximum de 25 - 30 par heure lorsque la durée du cycle est de l'ordre de la minute.

La réalisation d'une ligne avec priorité aux croisements tend donc à favoriser l'utilisation du véhicule articulé dès que le trafic d'heure de pointe dépasse 1.500 voyageurs par heure dans le sens le plus chargé, et le tramway dès qu'il dépasse 2.500 à 3.000 voyageurs.

Les modalités d'application de cette priorité telles qu'elles se présentent dans les cas d'application rencontrés peuvent prendre plusieurs formes :

- priorité réalisée par un programme qui donne "l'onde verte" pour le transport public en fonction de son diagramme de marche préétabli,
- priorité commandée par le véhicule lui-même à une distance donnée du carrefour ou, si l'arrêt en station précède le carrefour, un temps donné avant le démarrage,
- priorité restreinte avec intervention sur le cycle de feux pour prolonger ou faire anticiper la phase verte en fonction de la position des véhicules, avec compensation de cycle en dehors des passages.

3.2.3. - CONFLITS AVEC LA CIRCULATION PIETONNE

En principe, dans une artère fréquentée par les véhicules particuliers, le transport public en site propre n'introduit pas pour les piétons une coupure supplémentaire. Les règles concernant les passages piétons ne sont pas modifiées là où il existe une signalisation tricolore. Quand elle n'existe pas, il est préférable de la prévoir et, si possible, de placer des refuges entre voies routières et site propre de transport public car l'hétérogénéité des deux types de circulation constitue une difficulté supplémentaire pour la traversée des rues.

L'expérience des rues réservées aux transports publics et aux piétons montre qu'il y a moins d'accidents dans ces voies que lorsque la circulation automobile y existait. Il n'y a donc pas lieu de prendre d'autre précaution que la réduction de la vitesse maximale des véhicules.

Sur l'ensemble des lignes, le problème des accidents de piétons demeure un handicap du site propre en voirie par rapport au site propre intégral où l'on ne déplore que rarement des chutes de personnes sur la voie en station, qui constituent l'accident le plus redouté. Le fait que les accidents de piétons sur site propre de transport public soit presque exclusivement dû à des imprudences caractérisées de personnes traversant la voie à un endroit ou à un moment où c'est interdit, ne justifie pas de négliger le problème. La pose de barrières, de haies là où c'est possible, la mise en place de traversées aussi rapprochées qu'il est souhaitable, là où les relations entre deux côtés d'une avenue sont nécessaires, l'implantation d'une signalisation lumineuse, sont des moyens de réduire le taux d'accident.

En tout état de cause, le taux d'accident rapporté au nombre de déplacements est, pour le site propre en voirie comme pour les autres moyens de transport public, beaucoup plus faible que pour les modes de transports individuels, véhicule automobile ou deux roues.

CHAPITRE 3.3. APPLICATION A NEUCHATEAU D'UNE POLITIQUE FAVORABLE AUX TRANSPORTS PUBLICS

Les principes exposés précédemment concernant l'organisation et le fonctionnement d'un système de transport urbain, peuvent être mis en oeuvre dès maintenant dans les villes françaises de 200.000 à 1 million d'habitants. Il nous a paru intéressant d'exposer la mise en application de ces principes, telle qu'elle a été prévue pour l'agglomération de Neuchateau. Bien entendu, il ne saurait être question de généraliser sans précaution les solutions proposées ici, qui résultent des choix effectués par les élus de Neuchateau, compte tenu des caractéristiques propres de l'agglomération.

3.3.1. - LES OBJECTIFS DE LA REVISION DU SDAU DE NEUCHATEAU.

3.3.1.1. - Rappel des conséquences des options initiales.

Nous avons vu que les perspectives de développement retenues pour Neuchateau par les responsables du SDAU reposent sur un objectif prioritaire de décentralisation des activités. La création de villes nouvelles, situées à la périphérie de l'agglomération actuelle, dotées d'équipements commerciaux, administratifs et culturels doit permettre de limiter sévèrement la croissance du centre traditionnel qui, bien que souffrant dès aujourd'hui de congestion, tend à se développer rapidement.

Le type d'urbanisation prévu, en particulier dans les quatre villes nouvelles, traduit une préférence marquée pour l'habitat individuel, les densités de population attendues étant relativement basses et régulièrement réparties sur l'ensemble des zones à urbaniser.

L'organisation des déplacements repose essentiellement sur un réseau puissant d'autoroutes urbaines. Néanmoins, dans l'hypothèse A, décrite au chapitre 1.2., une ligne de transport en commun en site propre est prévue, reliant le centre de ville Ouest à la périphérie du centre traditionnel de Neuchateau.

Les critiques formulées à l'encontre du SDAU et de son système de transport ont été exposées précédemment (cf. sous-chapitre 1.2.3.). Avant de présenter les objectifs retenus par les responsables de l'urbanisation et des transports de Neuchateau pour l'élaboration d'une variante du SDAU reposant sur un système de transport préservant un meilleur équilibre entre moyens individuels et transports collectifs, nous rappelons les principales critiques :

- . l'effort de décentralisation excessif, et donc peu réaliste, nécessite un contrôle très rigoureux de la croissance urbaine,
- . le développement du centre traditionnel est freiné et limité étroitement à l'intérieur du périmètre d'une ceinture d'autoroutes urbaines ; le

fonctionnement de ce centre est lié à la mise en service d'infrastructures de voirie rapide et de parkings occupant un espace considérable (cf. fig. 12.11) et nécessitant de nombreuses opérations de "rénovation" génératrices d'expropriations et de travaux longs et gênants,

- le système de transport proposé consiste essentiellement en un puissant réseau de voies express qui résulte le plus souvent d'aménagements de la voirie existante, mais nécessite parfois, en particulier dans le centre traditionnel et en bordure du centre, la réalisation de percées dans le tissu urbain,
- un tel réseau est coûteux à construire et présente de plus l'inconvénient de fixer prématurément le développement urbain ; la taille et la rigidité des infrastructures de voirie rapide risquent de constituer une source de gaspillage de l'argent public si les planificateurs ne maîtrisent pas rigoureusement la croissance de la ville,
- le modèle de développement urbain choisi repose sur l'usage maximal de la voiture particulière ; il est symptomatique à cet égard de souligner que dans l'hypothèse A la part des déplacements assurés par les transports publics n'est que de 20%,
- les transports collectifs sont réduits à un rôle d'appoint consistant principalement à assurer les déplacements domicile-travail des captifs dont le sort a été délibérément sacrifié.

Les critiques précédentes ne sont pas l'expression d'un mécontentement face à une étude insuffisante et mal conduite. En fait, la préparation du SDAU de Neuchâteau, qui fut souvent citée en exemple, témoigne d'une conception du développement urbain et du système de transport aujourd'hui dépassée, mais qui dans les années 65-72 recueillait la faveur de la plupart des planificateurs. Le cas de Neuchâteau n'est pas isolé : dans d'autres villes d'importance comparable, les problèmes de transport étaient posés, même à long terme, en termes de déplacements de véhicules et non en termes de déplacements de personnes et d'accessibilité aux activités urbaines pour tous les citoyens motorisés ou non.

Les effets conjugués du renchérissement des produits pétroliers et d'une prise de conscience plus aiguë par les citoyens des problèmes de cadre de vie et des transports urbains ont conduit les élus de la Communauté Urbaine de Neuchâteau à demander une révision du système de transport prévu dans le SDAU de leur ville. Le paragraphe suivant est consacré à l'exposé des objectifs retenus pour cette étude complémentaire.

3.3.1.2. - Les objectifs d'une nouvelle stratégie de développement.

3.3.1.2.1. - Décentralisation des activités et poursuite de la croissance du centre traditionnel.

Les perspectives de développement urbain pris en compte pour la révision du SDAU étudiée à la demande des élus de Neuchâteau ne sont pas fondamentalement différentes de celles retenues pour le SDAU initial.

L'objectif de décentralisation, concrétisé par la création de quatre villes nouvelles n'est pas remis en cause, mais seulement quelque peu atténué tandis que la limitation de la croissance du centre traditionnel n'est plus considérée comme indispensable.

La prépondérance du centre traditionnel, pôle principal d'activité et de loisirs dans un cadre historique encore bien conservé, n'a pas été entamée jusqu'à ce jour par les problèmes de temps d'accès et de congestion de la voirie.

Plutôt que de limiter l'essor du centre traditionnel, il convient de rechercher les caractéristiques d'un système de transport permettant un accès facile au centre dans toutes les directions et dont l'implantation et le fonctionnement minimisent la consommation d'espace et les nuisances pour les riverains.

3.3.1.2.2. - Amélioration de la qualité de la vie des citoyens.

L'objectif d'amélioration de la "qualité de la vie" ne doit pas se traduire que par des aménagements partiels intervenant pour limiter les conséquences fâcheuses de choix fondamentaux effectués auparavant sans tenir compte de cet objectif.

Quel peut être l'intérêt d'une rue piétonne ou d'un espace vert s'ils constituent un îlot minuscule au milieu d'un centre urbain envahi par la voiture particulière, bruyant et pollué ? Ou bien d'un mur anti-bruit isolant, plutôt mal, un immeuble d'HLM d'une autoroute saturée ?

Les élus de la communauté urbaine de Neuchâteau ont décidé que *les objectifs de qualité de la vie des citoyens devraient être pris en compte explicitement dès le premier stade des modifications à apporter au SDAU initial.*

Une attention particulière devra être réservée aux points suivants :

- . réduction de la pollution atmosphérique par les gaz d'échappement et limitation du bruit causé par la circulation des automobiles et des véhicules de transport public, particulièrement dans le centre traditionnel,
- . aménagement d'un centre traditionnel préservant un heureux équilibre entre activités administratives, commerciales et de loisirs,
- . limitation des opérations de "rénovation" liées directement à l'implantation des infrastructures du système de transport,
- . limitation de l'espace consacré aux emprises des infrastructures de voirie rapide, de parkings et de transport en commun en site propre au niveau du sol,
- . opposition à toute infrastructure de transport construite en viaduc susceptible d'entraîner une gêne visuelle pour les riverains.

3.3.1.2.3. - Offrir à tous les citoyens une accessibilité convenable aux emplois et aux activités urbaines.

Le système de transport public doit permettre aux usagers captifs d'accéder rapidement au centre de Neuchâteau quels que soient leur lieu de résidence et l'heure de la journée. *Le temps d'accès au centre en transport en commun ne dépassera pas 30 minutes, en période de pointe comme en heure creuse.*

Le réseau de transport public doit assurer les liaisons en rocades entre les centres secondaires des villes nouvelles ainsi que les liaisons en rocades autour de la ville ancienne (petite ceinture).

- 98 -
La totalité de la zone doit être couverte par le réseau de transport public, la zone d'influence des stations étant de l'ordre de 30 hectares.

3.3.1.2.4. - Offrir aux usagers potentiels de la voiture particulière une alternative valable en transport en commun.

L'objectif est de dissuader le plus souvent possible les possesseurs de voiture particulière d'utiliser leur véhicule, en particulier pour effectuer leurs déplacements domicile-travail. Les transports publics doivent offrir un niveau de service suffisant pour attirer et conserver cette clientèle plus difficile que celle des captifs.

Les temps de trajet, parcours terminaux à pieds compris, doivent être comparables à ceux assurés par la voiture et même inférieurs si possible pour les liaisons avec le centre traditionnel où la nécessité d'établir une priorité aux transports publics est la plus impérieuse.

La "sécurité" du temps de trajet constitue également un élément déterminant qui doit jouer en faveur des transports publics. *L'aménagement de sites propres sera développé pour permettre d'assurer une régularité de passage convenable et une vitesse commerciale de l'ordre de 25 km/h sur les principaux axes de transports publics.*

D'autres efforts concernant la qualité du service et la simplicité d'utilisation seront accomplis portant notamment sur le confort des véhicules, l'organisation des ruptures de charge, l'aménagement de parkings de dissuasion.

Ces spécifications peuvent paraître superflues ou prématurées pour la préparation d'un plan de transport à long terme, en fait, elles conditionnent le dimensionnement des infrastructures de transport en commun et de voirie :

- . les normes de confort et de vitesse commerciale agissent directement sur le volume du parc de véhicules de transport public,
- . l'aménagement de voies réservées intervient pour le dimensionnement des infrastructures de voirie rapide urbaine.

3.3.1.2.5. - Flexibilité du système de transport.

Les solutions recherchées en matière d'infrastructures de transport doivent pouvoir s'adapter aisément aux besoins de la population au fur et à mesure de l'évolution de l'urbanisation.

En conséquence, le planificateur retiendra de préférence des infrastructures légères ne fixant pas de façon définitive la structure urbaine. Il convient de limiter l'extension du réseau d'autoroutes et de n'implanter un transport public en site propre que sur un nombre d'axes limités, où le nombre de voyageurs transportés est important et la circulation en voie banalisée difficile.

Dans le même ordre d'idées, on favorise les solutions ne nécessitant que des dépenses d'investissement modérées à court terme, mais pouvant être mises en oeuvre rapidement et susceptibles par la suite de s'adapter à la demande de transport grâce à des aménagements progressifs.

3.3.1.2.6 - Choisir les solutions les moins coûteuses pour la collectivité.

Les responsables de la révision du SDAU de Neuchateau sont invités à rechercher les systèmes de transport entraînant les dépenses d'investissements et de fonctionnement les plus réduites possibles, tout en étant compatibles avec la réalisation des objectifs précédents.

L'esprit suivant lequel les recherches doivent être menées, est assez bien résumé par des propos tenus par l'adjoint au maire de la commune de la Portière : "la qualité d'un système de transport ne se mesure pas au volume de béton coulé ou au degré de sophistication des techniques employées, mais à sa capacité à assurer, au moindre coût, et dans les meilleures conditions de rapidité, confort et sécurité, la totalité des déplacements souhaités par les citoyens".

3.3.1.2.7. - Choisir une stratégie à long terme dont l'application puisse être profitable dès les premières années.

Les élus de la communauté urbaine de Neuchateau attachent une importance particulière à ce que les options choisies pour l'élaboration du SDAU puissent être rapidement concrétisées par des actions dont la mise en oeuvre puisse intervenir dans les délais les plus brefs.

Plus précisément, *une stratégie favorable aux transports collectifs ne doit pas consister, par exemple, à réserver la possibilité d'implanter un transport en commun en site propre lorsque la capacité de la voirie est saturée, mais plutôt à mettre en oeuvre progressivement les moyens permettant de dissuader les automobilistes d'utiliser leur voiture.*

Une stratégie à long terme favorable aux transports collectifs doit être préparée dès aujourd'hui, par une amélioration du service offert par le réseau d'autobus et par la mise en oeuvre d'un plan de circulation favorable aux transports collectifs.

3.3.2. - CARACTERISTIQUES GENERALES DU NOUVEAU SDAU DE NEUCHATEAU (HYPOTHESE B)

Les objectifs définis ci-dessus ont été mis en application dans une nouvelle proposition pour le SDAU de Neuchateau. Cette proposition est dénommée hypothèse B dans la suite de l'étude et sera comparée à l'hypothèse A du SDAU initial décrite au chapitre 1.2. L'hypothèse B est caractérisée par le rôle important que jouent les transports publics (40% des déplacements).

Nous allons maintenant exposer les caractéristiques générales de l'hypothèse B (schématisée sur la fig. 33.1). Du point de vue de l'urbanisme, elles ne diffèrent pas radicalement de celles de l'hypothèse A ; les modifications du système de transport sont par contre essentielles et seront par conséquent développées plus largement.

3.3.2.1. - L'urbanisme.

3.3.2.1.1. - Le centre traditionnel. (cf. fig. 33.2 et 33.3)

La mise en place d'un système de transport public efficace et la limitation de l'espace occupé par des infrastructures de voirie et de parkings autorisent la poursuite de la croissance du centre traditionnel (1).

L'extension du centre d'affaires à l'est du square Vercingétorix, près de la Tigne, jusqu'au niveau du boulevard Arago, offrant 15.000 emplois nouveaux, bien que déjà entamée en 1974 était jugée inopportune et en conséquence, écartée dans le SDAU initial. Elle est rendue possible par l'adoption d'un système de transport faisant une plus large part aux transports publics.

Le centre traditionnel n'est plus confiné dans les limites d'un anneau de voies rapides, comme dans le projet antérieur, mais peut s'étendre progressivement, notamment vers le nord-est de l'hypercentre à proximité de la nouvelle université.

La suppression de la quasi-totalité des parkings et d'une bonne partie des autoroutes urbaines prévus dans le SDAU initial, donne de meilleures chances à la réussite d'une politique de rénovation des quartiers commerciaux de l'hypercentre qui, à terme, pourraient constituer une vaste zone piétonnière où seuls les véhicules de transports publics seraient autorisés à circuler.

3.3.2.1.2. - Les villes nouvelles.

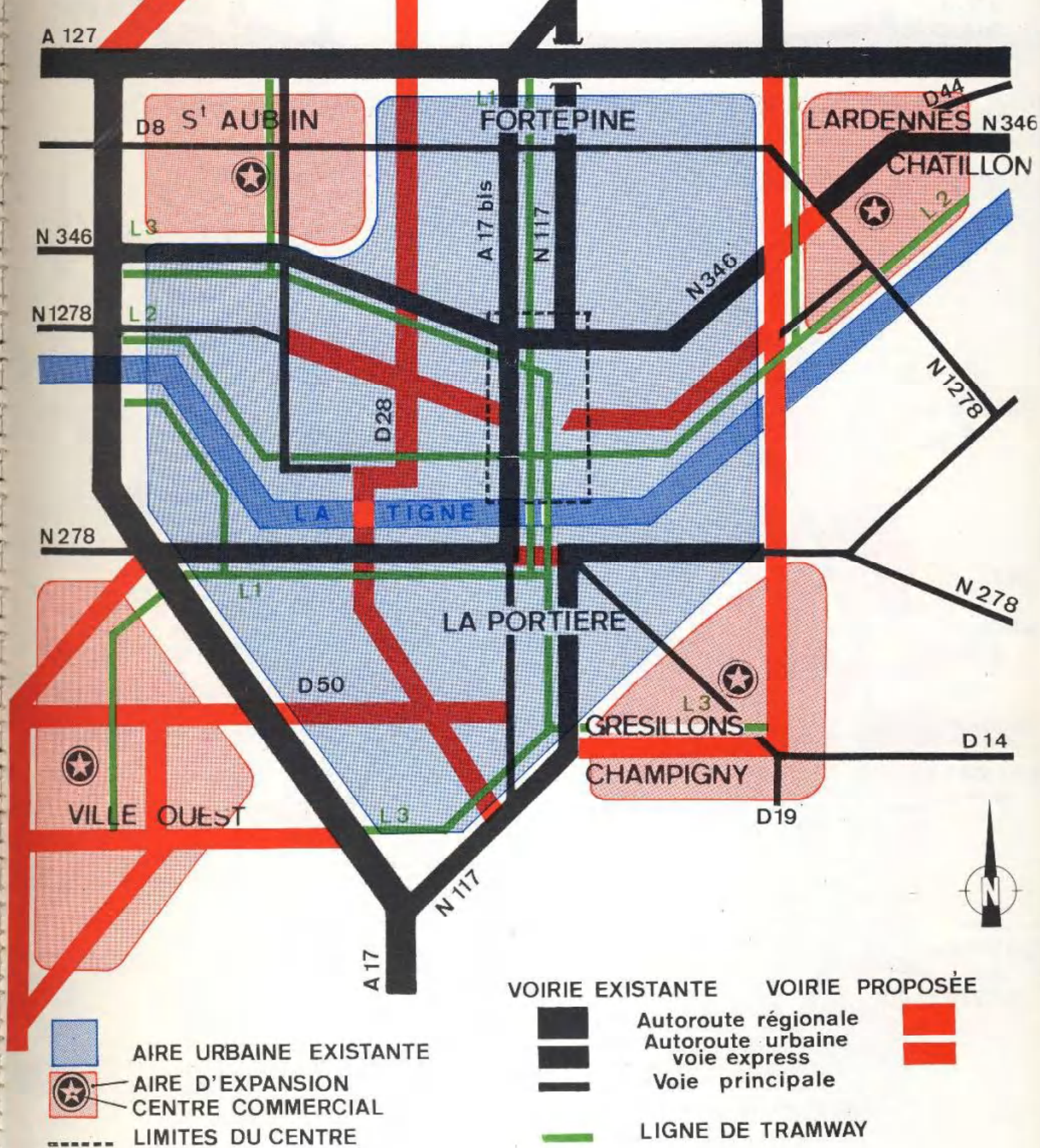
Le renforcement du centre traditionnel est compensé par une révision en légère baisse de la croissance des villes nouvelles, telle qu'elle était prévue dans le SDAU initial.

Cette légère baisse est accompagnée d'une concentration plus forte de l'habitat afin de relever sensiblement les densités prévues dans les zones à urbaniser. En effet, la généralisation d'un habitat urbain à faible densité, caractéristique dans les villes américaines (2), n'est pas souhaitable dans les pays européens où l'espace consacré à l'urbanisation ne doit pas être trop étendu. Par ailleurs, les coûts de viabilisation et d'aménagement des infrastructures de transport sont plus élevés pour un habitat dispersé.

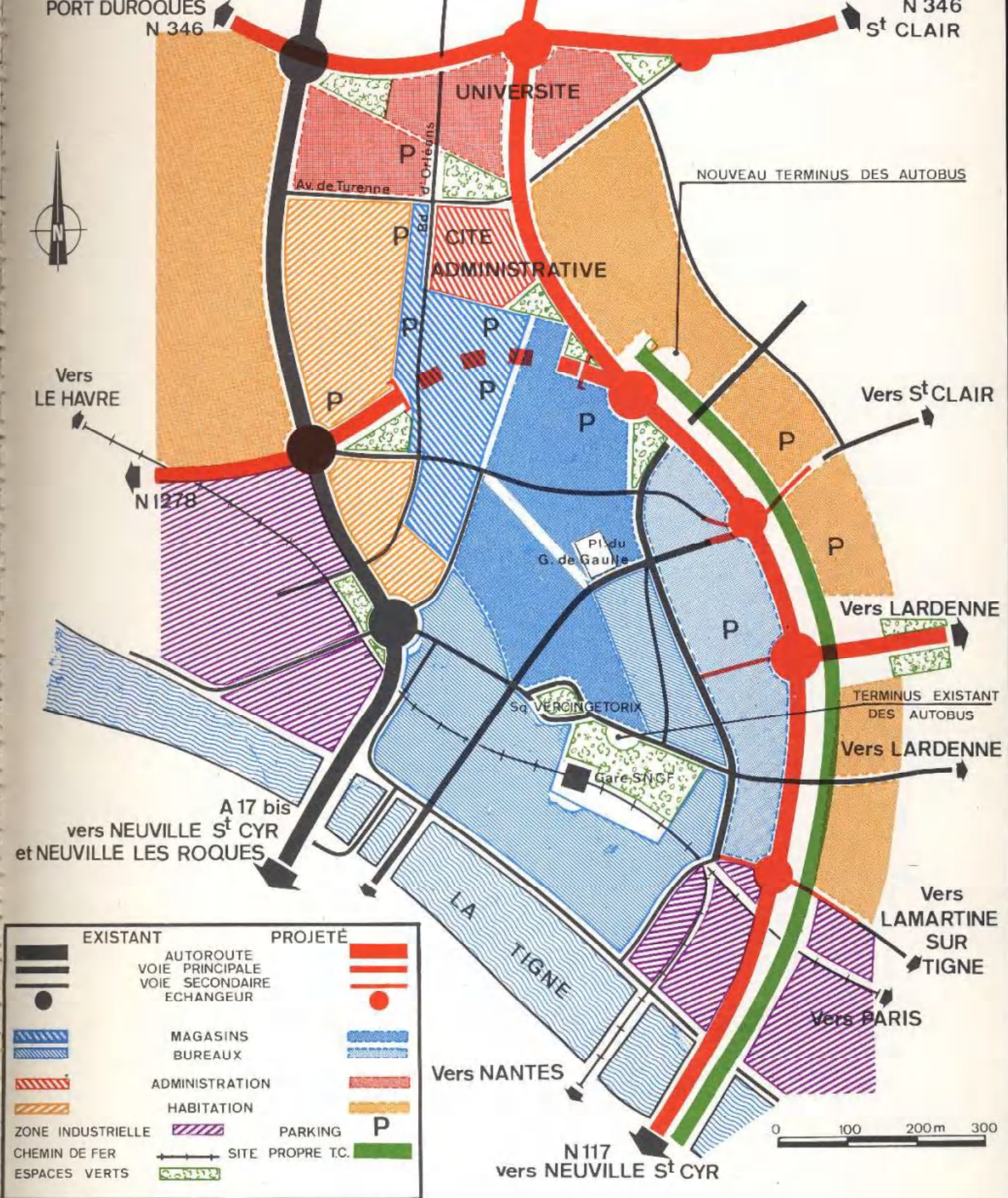
Pour tirer le meilleur parti du système de transport public dans les villes nouvelles, il est souhaitable que la densité de population et d'emplois soit élevée le long du tracé des lignes.

Chaque station pourrait constituer le noyau d'un centre d'activités comportant des commerces de détail, des services (poste, banque, agences, commissariat...), des équipements sociaux culturels (école primaire, crèche, dispensaire, cinéma, lieu de culte...) et un terminus de lignes d'autobus, des immeubles d'habitation et de bureaux étant situés à proximité immédiate, ainsi qu'un parking de dissuasion.

- (1) Le renforcement sensible du centre traditionnel, voulu par les élus de Neuchâteau, peut paraître peu souhaitable pour d'autres villes au centre déjà très dense.
- (2) Le cas de Los Angeles est exemplaire à cet égard : en moyenne, 14 habitants à l'hectare. Dans le centre, la répartition de la superficie au sol était la suivante en 1969 : voirie 27, trottoirs 10%, stationnement au sol hors voirie 23%, stationnement dans des bâtiments spécialisés 9%, bâtiments 31%. Près de 60% de l'espace est donc consacré à l'automobile.

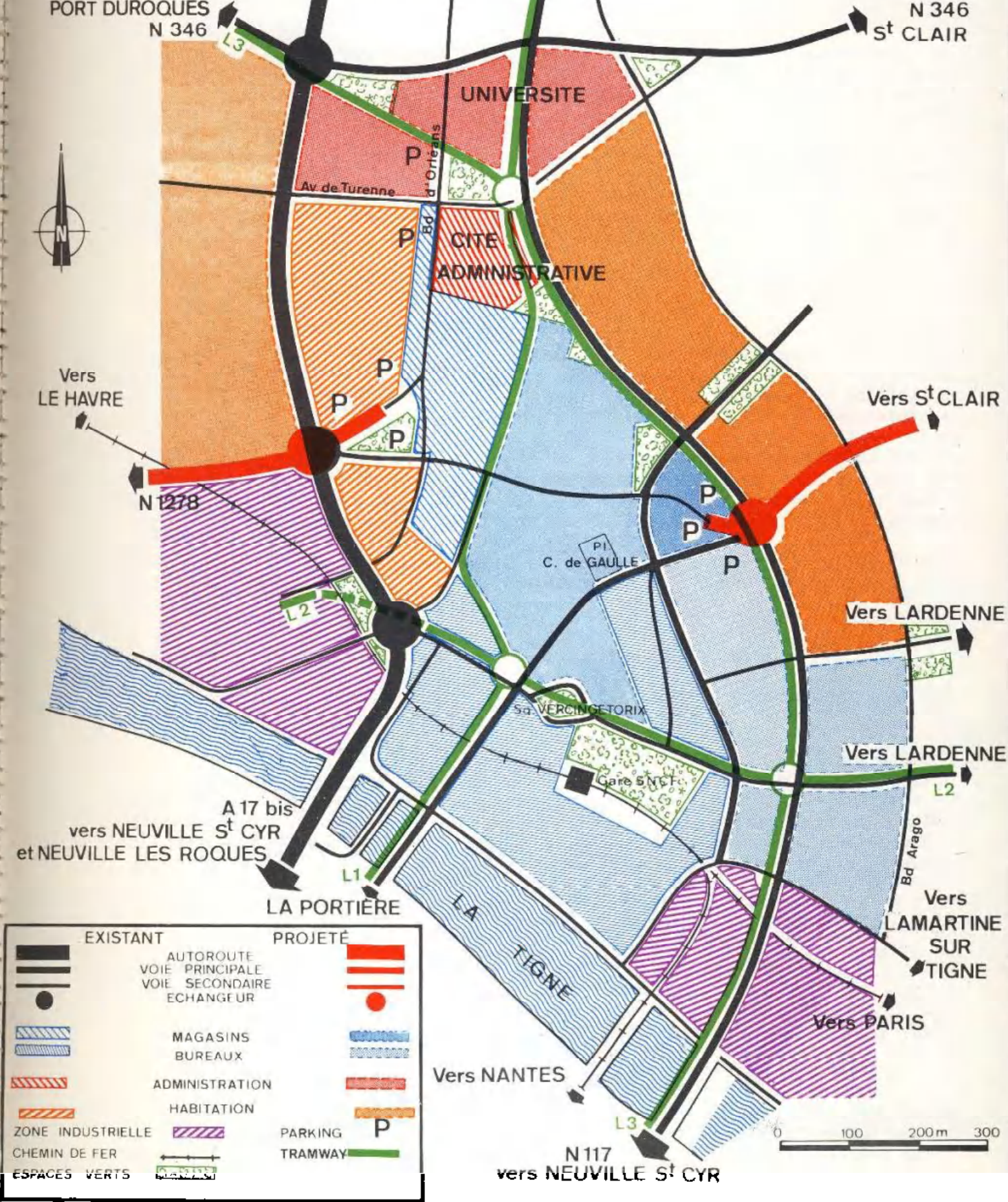


SCHÉMATISATION DU SDAU
Hypothèse B
 Fig. 33.1



CENTRE VILLE : SDAU Hypothèse A

Fig. 33-2



CENTRE VILLE : SDAU Hypothèse B

Fig. 33-3

Bien entendu, les formes d'urbanisation retenues pour les villes nouvelles ne sauraient dépendre uniquement de l'optimisation du système de transport public. D'autre part, une telle organisation urbaine suppose qu'un contrôle efficace soit exercé par les collectivités publiques sur l'utilisation du sol par l'intermédiaire du POS et de la procédure de ZAD.

Un tel type d'urbanisation où habitat de densité moyenne et maisons individuelles alternent avec des axes forts situés le long des lignes de transport en commun et aménagés au fur et à mesure du développement de ces lignes, existent à l'étranger - l'exemple de Toronto est caractéristique à cet égard.

3.3.2.2. - Le système de transport.

Ce paragraphe expose le travail de réflexion effectué par les responsables de l'étude de révision du SDAU. Cette réflexion consiste à définir la structure et les caractéristiques du système de transport, public notamment, à partir des contraintes imposées par les objectifs retenus par les élus de Neuchâteau.

Cette démarche est très différente de celle suivie pour l'élaboration du SDAU initial, où les caractéristiques du système de transport, supposé à priori essentiellement routier, se déduisaient de l'analyse de la demande future sans que d'autres objectifs que la capacité à faire face à cette demande n'interviennent clairement : le choix de la ligne de T.C.S.P. entre Ville Ouest et Neuchâteau, dans l'hypothèse A, ne répondait à aucune nécessité précise. Pourquoi desservir Ville Ouest plutôt qu'une autre zone périphérique ? Pourquoi un système automatique en site propre intégral ?

3.3.2.2.1. - Assurer une priorité réelle aux transports publics.

La réalisation de la quasi totalité des objectifs décrits précédemment implique la priorité aux transports publics :

La poursuite de la croissance du centre traditionnel n'est possible que si la répartition modale des déplacements vers, ou à partir du centre est profondément modifiée au détriment de la voiture particulière. En effet, le maintien de la répartition actuelle (75% pour les moyens individuels en heure de pointe) à l'horizon 2000 conduit à prévoir des infrastructures de voirie rapide et de parkings incompatibles avec un bon fonctionnement de ce centre et la préservation d'un environnement convenable.

A cet égard, les projets d'infrastructure viaires retenus dans le SDAU initial (cf paragraphe 3.3.3.2.2.) sont éloquents et encore faut-il préciser qu'ils correspondent à une hypothèse de croissance du centre traditionnel un peu moins forte que celle souhaitée par les élus de Neuchâteau.

L'amélioration du cadre de vie des citoyens (limitation de l'espace occupé par les automobiles, réduction du bruit et de la pollution atmosphérique) milite naturellement en faveur d'une politique de priorité aux transports publics.

La nécessité d'offrir à tous une accessibilité convenable aux activités urbaines et une alternative valable de transport aux citoyens disposant d'une voiture particulière constitue une raison supplémentaire de promouvoir un système de transport public assurant un haut niveau de service.

Une première exploration de la demande de déplacements à l'horizon 2000,

rapprochée d'une analyse qualitative sommaire du degré de réalisation des objectifs précédents a conduit les responsables de la révision du SDAU à retenir comme cible les hypothèses de répartition modale suivantes :

- . 40% des déplacements journaliers effectués par les transports publics pour l'ensemble de l'agglomération.
- . 65% des déplacements issus du centre à la pointe du soir effectués en transports publics.

Cette baisse de l'utilisation des moyens de transport individuels ne doit pas être la conséquence de restrictions autoritaires mais doit résulter de l'amélioration de la qualité du service offert par les transports publics (1).

Les conditions de circulation de l'ensemble des véhicules (autobus et voitures particulières) s'améliorent d'ailleurs sensiblement, pour une capacité de voirie donnée, lorsque la part des déplacements effectués en transport public s'accroît.

3.3.2.2.2. - Etablir un nouveau partage de la voirie entre transports collectifs et voiture particulière.

La priorité aux transports publics étant admise, une stratégie possible pouvait consister à préconiser la construction d'un métro, le moyen de transport public le plus puissant, ou de lignes de T.C.S.P., faisant appel à des techniques nouvelles, et assurant un très haut niveau de service.

Les objectifs retenus par les élus de la communauté urbaine de Neuchâteau ne sont pas compatibles avec l'adoption d'une telle stratégie :

- . *la préférence donnée aux solutions les moins coûteuses conduit à écarter la construction d'un métro ou de lignes de T.C.S.P. ; ou alors, il faudrait se contenter d'une seule ligne à l'horizon du SDAU, ce qui ne saurait donner de solution satisfaisante aux problèmes de transports qui concernent toute l'agglomération,*
- . *la construction de cette ligne de T.C.S.P. ou de métro ne pourrait être achevée avant 1980-1982, alors que les insuffisances des transports collectifs et les difficultés de circulation revêtent dès aujourd'hui un caractère aigu,*
- . *l'objectif de flexibilité du système de transport milite en faveur de solutions souples ne nécessitant pas la réalisation d'infrastructures lourdes (comme c'est le cas pour le métro) et susceptibles de faire l'objet d'aménagements progressifs sans interrompre ni trop modifier l'exploitation,*
- . *les élus de Neuchâteau, très sensibles aux problèmes d'environnement et de qualité de la vie, sont très défavorables à toute infrastructure, de voirie ou de transport en commun, entraînant une coupure dans le tissu urbain ou une gêne visuelle pour les riverains.*

(1) On peut ne pas partager l'optimisme des élus de Neuchâteau et penser que la mise en oeuvre d'une politique de restriction du stationnement dans le centre traditionnel devrait être appliquée parallèlement au développement des transports publics, afin de limiter sévèrement l'utilisation de l'automobile pour les déplacements domicile-travail, tout en facilitant l'accès au centre traditionnel pour les déplacements d'achats.

Les infrastructures lourdes de transport en commun étant exclues, la seule issue possible consiste à améliorer de façon déterminante le niveau de service offert par les transports collectifs circulant sur la voirie.

Une telle amélioration passe par l'établissement d'un nouveau partage de la voirie entre voiture particulière et transport collectif. Une partie de la chaussée sera réservée à la circulation des véhicules de transport public qui devront bénéficier d'une protection suffisante pour assurer un niveau de régularité et de vitesse commerciale élevé.

3.3.2.2.3. - Concentrer la majeure partie de l'offre de transport public sur des axes lourds.

Le renforcement de l'activité du centre traditionnel et les conséquences de l'adoption d'une politique de priorité aux transports en commun conduisent à un niveau de la demande de transport très élevé, particulièrement aux heures de pointe.

Pendant l'heure de pointe du soir, 42.000 déplacements issus du centre vers la périphérie devront être assurés par les transports publics. Des solutions particulièrement efficaces devront être mises en oeuvre. Il n'est pas possible de s'en tenir à une généralisation des couloirs réservés aux autobus tels qu'ils fonctionnent actuellement pour les raisons suivantes :

- le niveau de service n'est pas suffisant pour concurrencer l'automobile (vitesses commerciales de l'ordre de 12 à 16 km/h pour des couloirs à peu près bien respectés),
- les possibilités d'accès au centre en voiture particulière risquent d'être compromises : les limites de capacité d'un couloir classique (80 à 100 autobus/heure, soit 4 à 5000 voyageurs/heure, avec un taux d'occupation moyen de 80%) rendent nécessaires leur généralisation qui réduit le nombre de voies disponibles pour les voitures particulières.

En conséquence, l'offre de transport sera concentrée sur quelques axes, dénommés "axes lourds", au nombre de 3, traversant chacun le centre de Neuchâteau. Sur ces axes, les transports publics bénéficieront d'une protection totale : séparation physique et priorité aux carrefours. Les systèmes de commande des feux pourraient exceptionnellement être remplacés par un passage dénivelé, soit de la ligne empruntant l'axe lourd, soit des courants de circulation qui la croisent.

Avec des interstations de l'ordre de 500 mètres, la vitesse commerciale doit dépasser 25 km/h suivant le type de matériel roulant utilisé, ce qui, complété par une excellente régularité de passage permet de satisfaire l'objectif de qualité du service offert tant aux captifs qu'aux usagers motorisés.

Les problèmes posés par l'insertion d'un tel système en milieu urbain peuvent devenir aigus si la largeur de la voirie empruntée par l'axe lourd n'est pas suffisante. En ce qui concerne Neuchâteau, aucune difficulté majeure ne devrait apparaître hors du centre à l'exception du franchissement de voies rapides urbaines et du chemin de fer. En revanche, la traversée du centre est plus délicate pour deux des trois axes lourds. Deux possibilités peuvent être envisagées pour ces deux sections centrales : mise en souterrain ou réservation des rues empruntées aux transports publics et aux piétons, comme cela se pratique de plus en plus souvent à l'étranger (Brême, Kassel, Bâle, Zurich, Londres) ou en France (Besançon, Marseille, Grenoble).

C'est cette deuxième hypothèse qui a été retenue. Elle est en effet plus conforme aux objectifs poursuivis par les élus de Neuchâteau : choisir les solutions les moins coûteuses pour la collectivité et traduire concrètement la priorité assurée aux transports publics.

3.3.2.2.4. - Utilisation de tramways modernes sur les axes lourds.

Le trafic à acheminer sur les axes lourds au niveau de la sortie du centre traditionnel, à l'heure de pointe du soir, varie suivant la ligne de 5000 à 8500 voyageurs/heure par sens à l'horizon du SDAU pour un jour moyen. Il faut donc prévoir un système susceptible de transporter, dans des conditions de rapidité et de régularité suffisantes, environ 10.000 voyageurs/heure par sens.

Un tel débit s'il est acheminé par autobus classiques de 70 à 80 places, nécessite une fréquence de 165 véhicules/heure, pour un taux d'occupation moyen de 80%. Dans ces conditions, il n'est plus possible de tirer le moindre avantage de la commande des feux aux croisements et les autobus se gênent mutuellement aux arrêts, même avec des emplacements prévus pour deux véhicules. La vitesse commerciale tombe à 10 ou 12 km/h (1).

L'utilisation de bus articulé, de capacité égale à 120 places, n'est pas non plus satisfaisante pour des trafics de l'ordre de 8 à 10.000 voyageurs/heure pour les mêmes raisons, bien que dans une moindre mesure que pour les autobus classiques. En effet, l'efficacité de la commande des feux commence à ne plus être parfaite dès lors que la fréquence des passages, pour l'ensemble des deux directions, dépasse sensiblement un véhicule par cycle des feux, soit environ 30 par heure et par sens.

En revanche, le tramway permet d'acheminer un trafic de 10.000 voyageurs/heure par sens, en accouplant deux éléments de 255 places chacun (2), avec des fréquences de l'ordre de 25 véhicules/heure, ce qui reste compatible avec la commande des feux de croisement, et par conséquent, avec une vitesse commerciale égale ou même supérieure à 25 km/h (1).

Par ailleurs, nous avons vu précédemment (1) que le coût de fonctionnement du tramway ramené au voyageur km était nettement inférieur à celui obtenu par l'autobus, et même par l'autobus articulé, dès lors que le trafic maximal horaire dépassait 2.000 voyageurs/heure par sens.

Enfin, le tramway est non polluant et moins bruyant que les véhicules à moteur thermique.

Le seul reproche formulé à l'égard de ce mode de transport du point de vue de l'environnement concerne la gêne visuelle causée par les fils d'alimentation (3).

(1) cf chapitre 2.2. et annexe n° 2.

(2) Il s'agit du tramway long à 3 caisses sur 4 bogies, gabarit large.

(3) A ce propos, il est intéressant de noter que sur l'axe qui conduit de la place Jean XXIII à la place Jeanne d'Arc, les fils aériens utilisés par une ancienne ligne de tramways supprimée depuis 16 ans, n'ont toujours pas été retirés. Cet exemple semble indiquer que la gêne visuelle n'est pas vraiment intolérable. Les habitants de Neuchâteau, comme ceux de bien des villes allemandes, hollandaises, suisses ou italiennes, n'attachent pas plus d'importance à ces fils d'alimentation des tramways qu'à d'autres anomalies du paysage urbain, souvent bien plus envahissantes (signalisation routière, parcmètres, panneaux publicitaires...).

"L'exploitation de tramways sur des axes lourds permet de satisfaire, au moindre coût, la demande de trafic à l'horizon 2000 dans des conditions de vitesse et de régularité permettant de concurrencer valablement la voiture particulière".

Ce bilan élogieux présenté par le chef de projet de l'étude de révision du SDAU de Neuchâteau doit être complété par la remarque suivante, également à l'avantage de ce système : *la circulation de véhicules sur rail sur des axes lourds, traversant la totalité de l'agglomération, doit avoir un effet structurant sur l'urbanisation, entraîner une densification de l'habitat à proximité des stations, et encourager ainsi une croissance urbaine minimisant les coûts de déplacement sans avoir les inconvénients - coût d'investissement excessif et manque de flexibilité - d'un métro ou d'un T.C.S.P. hors voirie.*

En outre, la réserve de capacité du système de transport, reposant sur ses trois axes lourds, autorise une croissance du centre traditionnel plus forte que celle retenue par les planificateurs (1), alors que le système basé sur les infrastructures de voirie rapide fonctionnerait en 2000 aux limites de sa capacité.

3.3.2.2.5. - Caractéristiques de l'offre de transport public.

Pour offrir à tous les citoyens une accessibilité convenable aux emplois et aux activités urbaines et aux usagers potentiels de la voiture particulière une alternative valable en transport en commun, le niveau du service doit être considérablement amélioré.

Le réseau de transport public doit couvrir la totalité de l'agglomération : les 3 axes lourds traversant le centre sont prolongés jusqu'aux limites de la zone urbanisée prévue par le SDAU, ils comportent 90 km de lignes au total. Les infrastructures de transport doivent, en effet, accompagner ou mieux précéder le développement urbain. Ces axes lourds sont exploités en fourches aux deux extrémités (2). Sur ces lignes exploitées avec des tramways modernes la fréquence atteint 30 rames de 2 véhicules à l'heure et ne descend pas en dessous de 10 passages à l'heure pendant toute la durée du service (3).

La vitesse commerciale dépasse 25 km/h et reste invariable au long de la journée.

Un réseau de "lignes principales" de 150 km de longueur environ comprenant des lignes radiales avec terminus dans le centre traditionnel et des lignes de rocade sur la petite ceinture et entre les villes nouvelles (4), complète les axes lourds. Ces lignes exploitées par des autobus bénéficient d'une protection suffisante pour autoriser une vitesse commerciale de l'ordre de 18 km/h : sites propres à la périphérie, bandes réservées et commandes de feux aux carrefours les plus difficiles. Ce réseau a principalement pour vocation d'assurer des liaisons directes mais il assure un rabattement sur les axes lourds

- (1) Le trafic horaire maximal prévu en 2000, obtenu pour l'axe Est-Ouest, s'élève à 8500 voyageurs/heure pour un jour moyen, alors que le niveau de service offert par les tramways circulant sur les axes lourds commence à se dégrader pour un trafic de l'ordre de 12.000 voyageurs/heure si les carrefours ne sont pas dénivelés.
- (2) cf description du tracé des lignes § 3.3.3.2.1.
- (3) Ce sont les hypothèses retenues pour l'évaluation des dépenses de fonctionnement (cf § 3.3.3.3.3.).
- (4) cf description du tracé des lignes § 3.3.3.2.1.

(par l'intermédiaire des lignes de rocade en particulier). La fréquence minimale ne doit pas descendre en dessous de 6 véhicules/heure sur les lignes de ce réseau.

Les réseaux de transport en commun correspondant aux hypothèses A et B sont représentés respectivement sur les figures 33.4. et 33.5.

Pour compléter le maillage, un réseau secondaire exploité par des autobus ou par des minibus éventuellement, s'étend sur au moins 200 km. Les lignes de ce réseau ont essentiellement une fonction de rabattement sur les axes d'intérêt local en périphérie. Pour ces lignes situées le plus souvent hors de la partie la plus dense de l'agglomération une vitesse commerciale de l'ordre de 16 km/h doit être possible avec une protection très légère. La durée journalière de service doit couvrir la totalité de la journée active : 4 h 00 - 1 h 00 (1).

Enfin, bien que ces éléments ne puissent être pris en compte au niveau du SDAU :

- . le plus grand soin devra être apporté à l'organisation des ruptures de charge et particulièrement des rabattements des lignes secondaires et principales sur les axes lourds ; l'aménagement de correspondance quai à quai doit être réalisé le plus souvent possible,
- . la mise en service de parkings de dissuasion à proximité immédiate des stations des axes lourds à la périphérie de l'agglomération doit inciter les possesseurs de voiture particulière habitant trop loin d'un arrêt de transport public à utiliser tout de même les lignes de tramways pour se rendre dans le centre traditionnel,
- . le choix d'une tarification unique, pour toute l'étendue de l'agglomération, permettant d'utiliser successivement plusieurs lignes, constitue également un atout appréciable en faveur du système de transport collectif.

3.3.2.2.6. - Le réseau de voirie rapide urbaine.

Pour la préparation du SDAU initial un inventaire complet des possibilités de développement du réseau de voirie rapide avait été effectué : voies existantes pouvant être aménagées en voie express et possibilités de percées dans le tissu urbain.

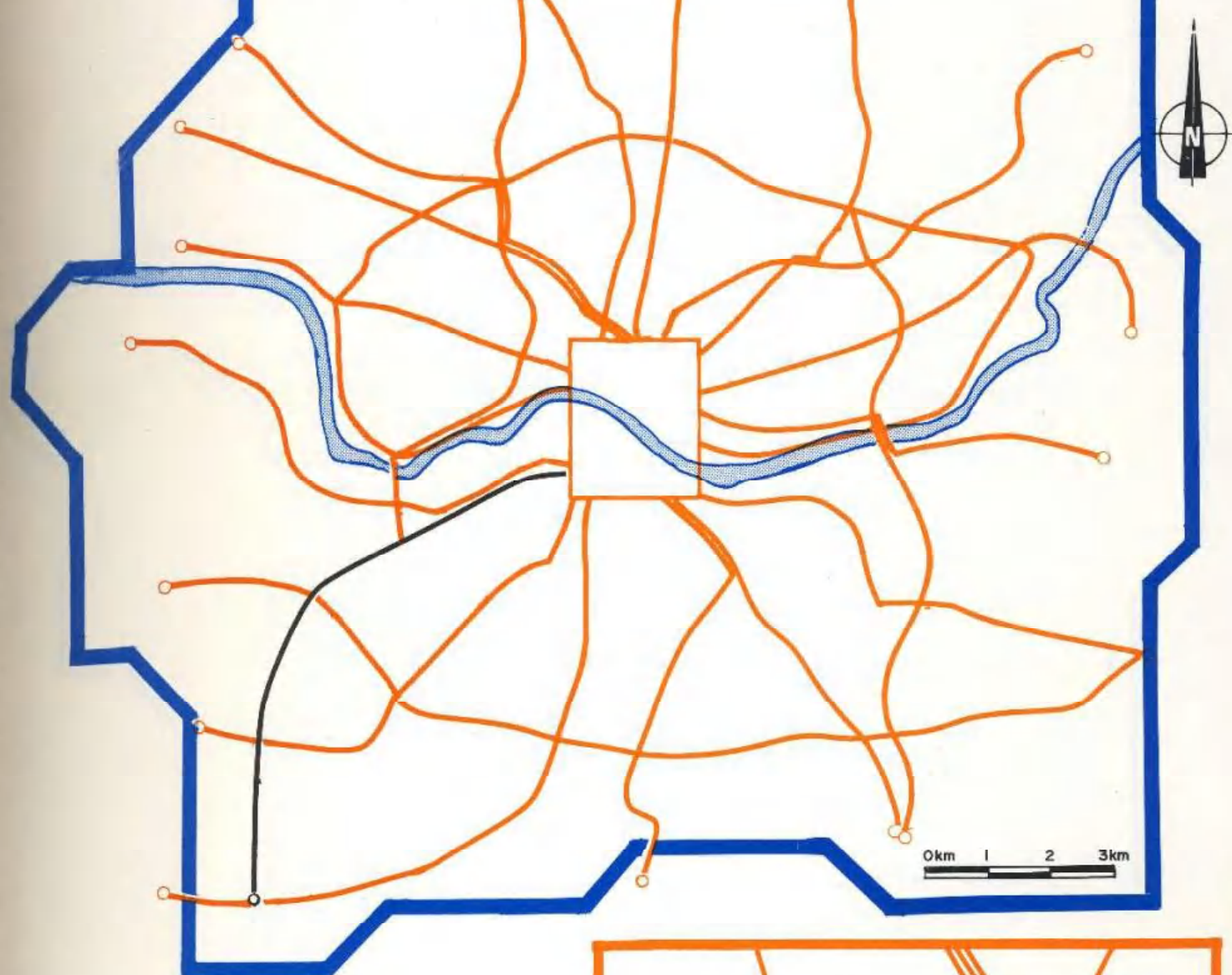
La méthode de travail retenue pour l'étude de révision consiste à partir du réseau de voirie rapide proposé dans le document présentant le SDAU initial à choisir les infrastructures qui seront conservées dans le nouveau système de transport.



La modification radicale des hypothèses de répartition modale - 40% des déplacements effectués par les transports publics au lieu de 20% dans l'hypothèse A, conduit, particulièrement pour l'accès au centre traditionnel, à une réduction appréciable des besoins en infrastructures de voirie.

De la même façon, la capacité de stationnement dans la zone centrale à prévoir à l'horizon 2000, est bien moindre que celle nécessaire dans l'hypothèse de répartition modale retenue pour l'élaboration du SDAU initial.

Ces résultats sont conformes aux objectifs fixés par les élus de Neuchâteau :

- (1) Pour l'ensemble des lignes; axes lourds exceptés, les calculs d'estimation des dépenses annuelles de fonctionnement du système de transport public ont été menés sur les hypothèses suivantes : vitesse commerciale, 16 km/h - amplitude du service : 21 h - intervalle entre autobus inférieur ou égal à 20 minutes pour les lignes secondaires aux heures les plus creuses.

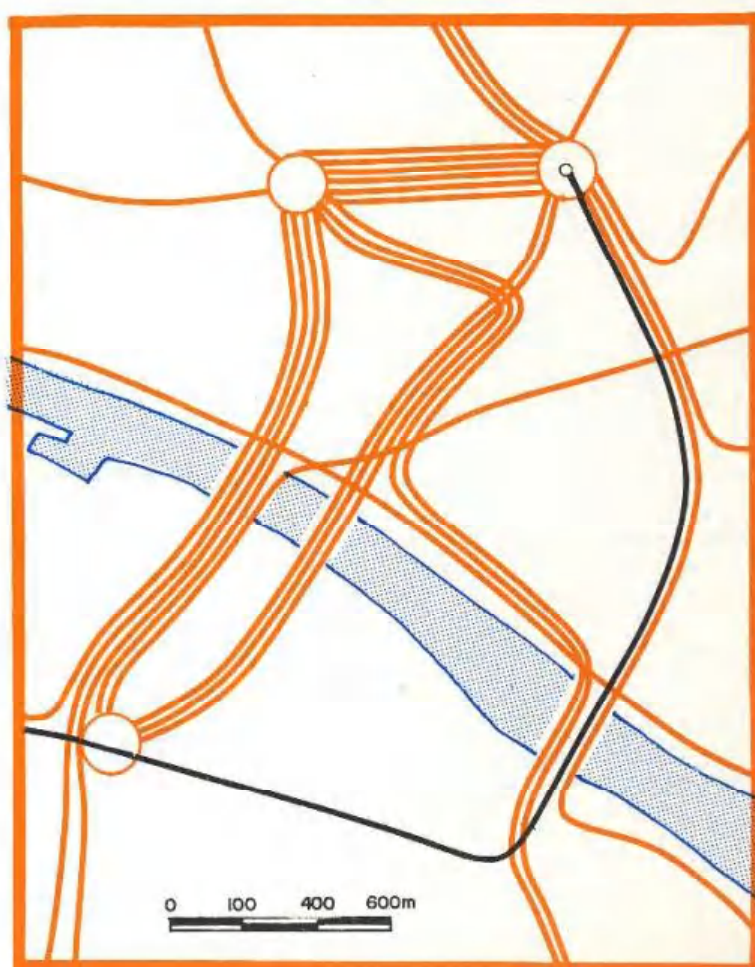


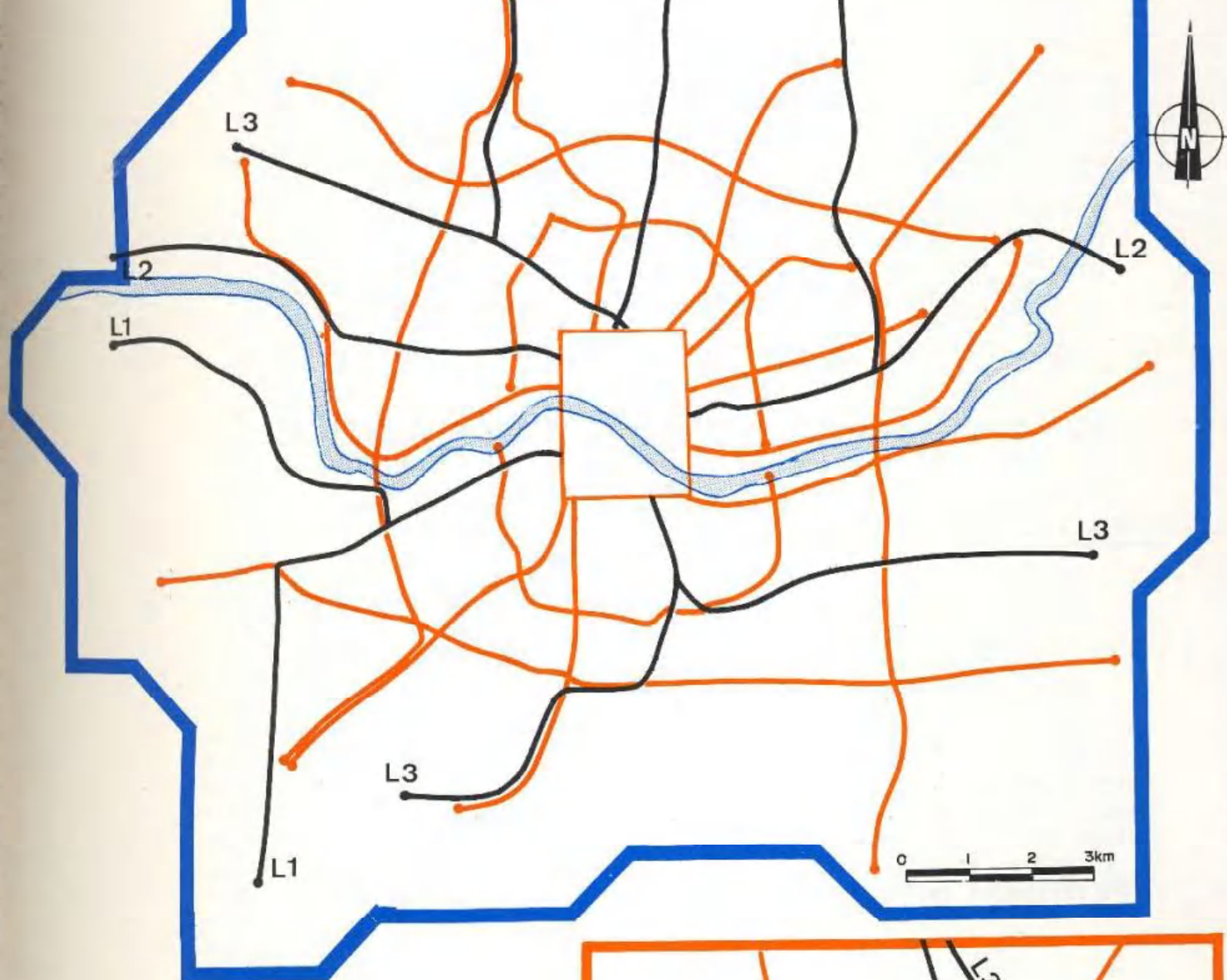
-  LIGNE PRINCIPALE D'AUTOBUS
 LIGNE DE T.C.S.P

NEUCHÂTEAU SDAU 2000

RESEAU DE TRANSPORT
EN COMMUN

Hypothèse A
Fig.33.4





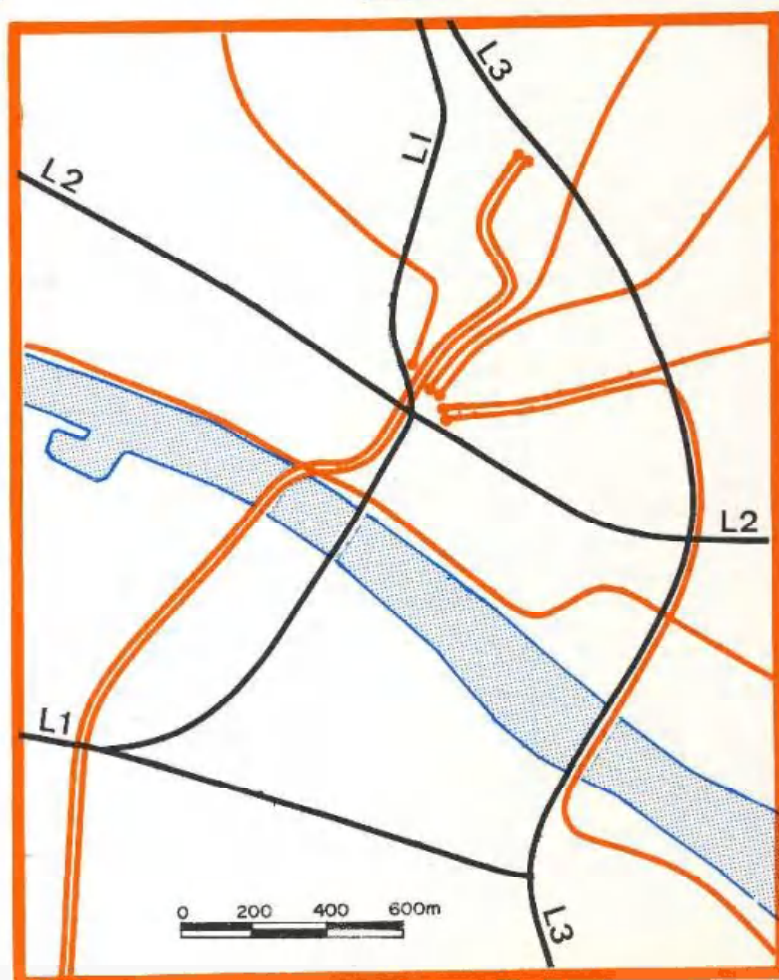
— LIGNE PRINCIPALE
D'AUTOBUS

— LIGNE DE TRAMWAY

NEUCHÂTEAU
SDAU 2000

**RÉSEAU DE TRANSPORT
EN COMMUN**

Hypothèse B
Fig.33-5



- . limiter au minimum les infrastructures lourdes, autoroutes urbaines notamment, et les parkings dans le centre,
- . choisir les solutions les moins coûteuses en espace consommé et en dépenses d'investissements.

Le dimensionnement des infrastructures de voirie et de parking ainsi que la comparaison du réseau de voirie rapide entre les deux systèmes de transport (hypothèse A et hypothèse B), figurent au paragraphe 3.3.3.2. du présent chapitre.

3.3.3. - DESCRIPTION DES SYSTEMES DE TRANSPORTS URBAINS EN 2000 ET 1985.

3.3.3.1. - Demande de transport et répartition modale.

3.3.3.1.1. - L'horizon 2000.

Les prévisions de trafic à l'horizon du SDAU reposent sur les hypothèses de répartition géographique de la population et des emplois. La distribution des populations et emplois par zones, établie pour la préparation du SDAU initial n'a pas été très modifiée pour l'étude de révision. Les seules modifications concernent le centre traditionnel, où 15.000 emplois supplémentaires sont introduits dans le secteur situé entre le square Vercingétorix et le boulevard Arago, et les quatre villes nouvelles où le volume d'emplois a été réduit corrélativement.

Les hypothèses de génération et d'attraction retenues pour le SDAU initial ont été conservées : taux de génération de déplacements par habitant, répartition des déplacements par motifs, répartition horaire du trafic et proportion effectuée pendant la pointe de trafic.

Par ailleurs, le même modèle de distribution des flux interzones de déplacements par motifs a été utilisé. Les flux intersectoriels en heure de pointe du soir, tous modes, tous motifs, sont représentés sur la figure 33.6. (1)

En revanche, les hypothèses de répartition modale retenues pour l'étude de révision du SDAU sont totalement différentes de celles utilisées auparavant.

Globalement, la part des déplacements assurés par les transports publics s'élève à 40% dans l'hypothèse B, contre seulement 20% pour l'hypothèse A. Rappelons qu'en 1973 cette part était réduite à 16%. Ce doublement de la fréquentation du transport collectif ne doit pas surprendre. Dans

(1) Le découpage géographique de l'agglomération comprend 49 zones et 9 "points d'entrée" (gare SNCF et points d'échanges du trafic interurbain), regroupés en 9 secteurs.

des villes comme Saint-Etienne ou Lyon, où les transports publics fonctionnent convenablement, ceux-ci assurent respectivement 40 à 32% des déplacements (données de 1970). En région parisienne, à la même époque, la part des transports publics atteint 50%.

Néanmoins, une telle progression, de 40 à 32 % n'est possible à Neuchateau que si une amélioration considérable de l'offre est réalisée, d'autant que la mobilité des personnes est appelée à augmenter de 1,6 déplacement par personne et par jour en 1973 à 2 déplacements en 2000.

L'évolution du nombre de déplacements annuels par personne en transport public est résumée dans le tableau suivant, où figurent également des données actuelles concernant des villes européennes réputées pour bénéficier d'un système de transport public efficace.

Ville	Nombre de déplacements annuels en transports publics	Ville	Nombre de déplacements annuels en transports publics
Turin	300	Leeds	340
Bâle	290	Manchester	260
Zürich	400	Neuchateau 1960	120
Francfort	270	Neuchateau 1973	84
Göteborg	220	Neuchateau 2000 A	125
Stockholm	280	Neuchateau 2000 B	250
Edimbourg	350		

L'hypothèse A ne prévoit qu'un redressement limité de la situation des transports publics, puisque on se contente de revenir à la situation de 1960.

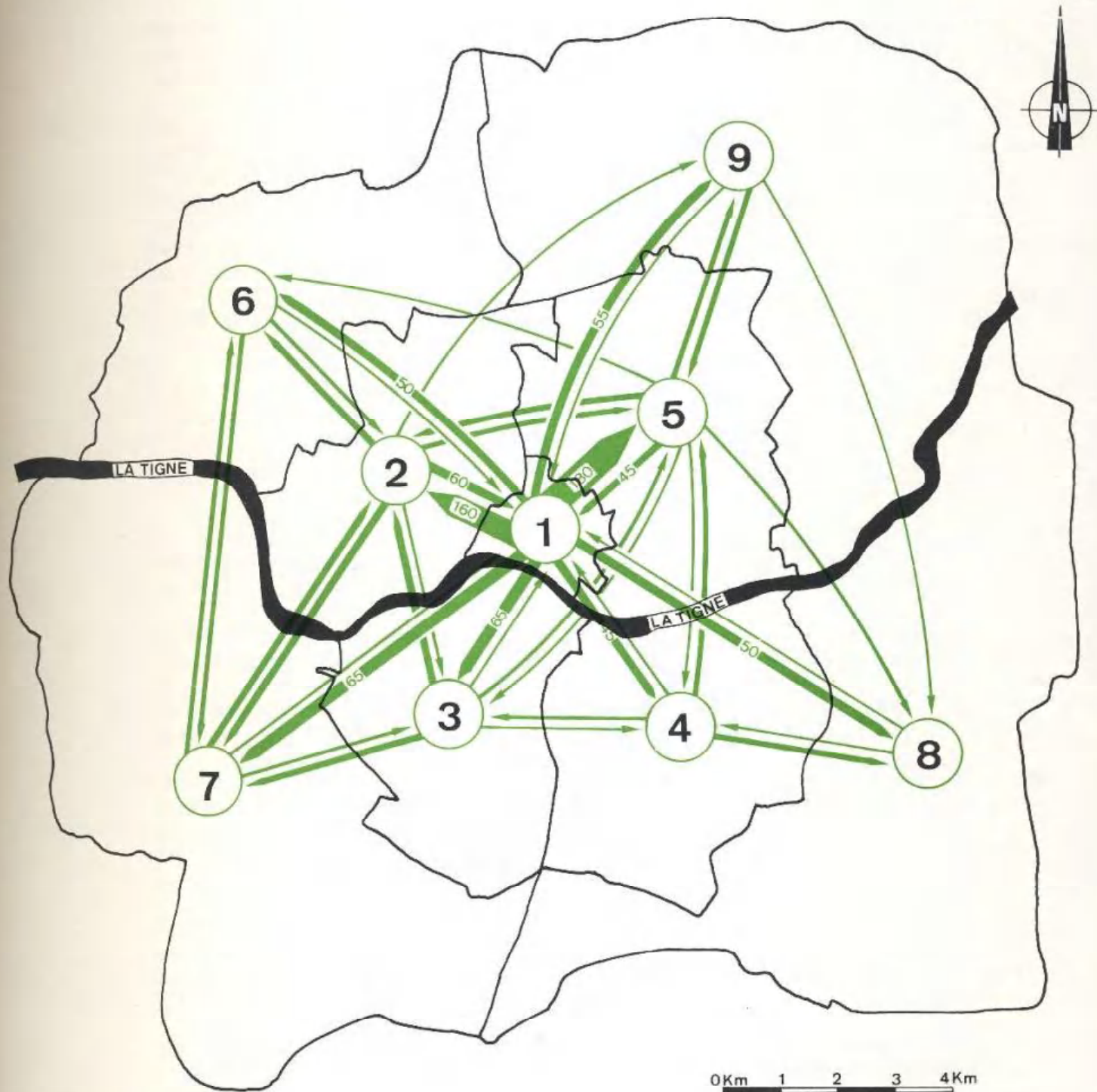
La comparaison avec les villes étrangères, particulièrement avec Zurich, montre que l'objectif fixé par les élus de la communauté urbaine de Neuchateau n'a rien de particulièrement ambitieux, toutefois, compte tenu du retard accumulé, il nécessite, comme nous le verrons plus loin, un effort d'investissement relativement important en dépit du choix d'un système de transport peu coûteux à mettre en oeuvre.

3.3.3.1.2. - L'horizon 1985.

Comme pour la préparation du SDAU initial, un horizon intermédiaire (1985), relativement proche a été étudié, pour lequel on définit l'état de système de transport, considéré comme une phase de réalisation du système complet proposé pour l'an 2000.

Les perspectives de développement de l'agglomération de Neuchateau en 1985 retenues pour l'étude de révision sont pratiquement identiques à celles proposées antérieurement par l'Agence d'Urbanisme. On notera cependant, que la décentralisation des activités est légèrement atténuée. Dans la nouvelle variante 1985, 7.000 emplois supplémentaires sont prévus dans le centre de Neuchateau s'ajoutant à la croissance limitée proposée dans le SDAU initial. Ce renforcement du centre traditionnel est compensé par une croissance moins forte des villes nouvelles.

La méthodologie utilisée pour calculer la demande de transport tous modes



 Flux en centaines de voyageurs (la largeur est proportionnelle au trafic)

NEUCHÂTEAU SDAU 2000

LIGNES DE DESIR - TRAFIC A LA POINTE DU SOIR

Fig.33-6

en 1985 est la même que celle employée pour l'horizon 2000. La mobilité est intermédiaire entre celle constatée en 1970 et celle prévue pour 2000; 1,8 déplacements motorisés par personne et par jour.

Les grilles de répartition modale retenues pour l'étude de révision du SDAU en 2000 ont été conservées pour 1985. Cette hypothèse implique que l'effort à consentir en faveur des transports publics soit entrepris dès aujourd'hui et bénéficie de crédits suffisants, pour que l'objectif de répartition harmonieuse du trafic entre voitures particulières et transports collectifs approuvé par les élus de la communauté urbaine de Neuchateau soit atteint dès 1985 :

- . 40% des déplacements journaliers effectués en transports publics pour l'ensemble de l'agglomération,
- . 65% des déplacements issus du centre à la pointe du soir effectués en transports publics.

3.3.3.1.3. - Le dimensionnement des infrastructures

La recherche des tracés des infrastructures de voirie et des axes de transports publics à créer ou développer est orientée par l'examen des "lignes de désir" : affectation des flux interzones sur un réseau schématique.

De la confrontation de la demande en heure de pointe, représentée par les lignes de désir, et des possibilités d'aménagement de corridors utilisés par les infrastructures de transport résulte le choix des réseaux de transport en commun et de voirie rapide urbaine à réaliser pour satisfaire les besoins en déplacements de la population.

Le dimensionnement de ces réseaux - parc de matériel roulant et fréquences pour les transports publics, nombre de voie de circulation et de places de parking pour les moyens individuels - est effectué à partir des flux maximaux horaires et des variations de l'accumulation des voitures particulières en stationnement par zone géographique.

Pour l'étude de révision du SDAU le calcul des flux horaires maximaux a été réalisé séparément pour les réseaux de voirie et de transports publics, ce dernier, contrairement à une habitude courante pour la préparation du SDAU, étant représenté avec un niveau de détail élevé.

Une simplification poussée dans la définition et la représentation des réseaux d'autobus et de tramways peut paraître satisfaisante lorsque les transports publics sont réduits à un rôle d'appoint ; par contre, lorsque la part des déplacements assurés par les moyens de transports collectifs atteint 40%, il ne saurait être question d'estimer les trafics futurs des lignes sans utiliser un modèle spécifique et une représentation précise du réseau.

Les paragraphes suivants sont consacrés à la description du tracé et des caractéristiques de capacité et de trafic des réseaux 2000 et 1985 de transports publics et de voirie rapide du système choisi pour l'hypothèse B. Des éléments de comparaison avec les caractéristiques du système de transport de l'hypothèse A sont également fournis.

3.3.3.2. - Description du système de transport en 2000

3.3.3.2.1 - Le réseau de transport public

Nous avons vu précédemment que le réseau de transport public devait être structuré par des "axes lourds" empruntés par des tramways modernes circulant sur un site propre aménagé sur la voirie (cf § 3.3.2.2). Compte tenu du volume des flux à acheminer à l'heure de pointe du soir et des possibilités offertes par la voirie aux abords du centre traditionnel 3 axes lourds ont été retenus. Chacun d'entre eux traverse le coeur de la cité, dessert des quartiers denses situés en bordure du centre et s'étend jusqu'aux limites extrêmes de la zone urbanisée à l'horizon 2000. Le choix des tracés dans la partie de la ville déjà urbanisée en 1974 résulte d'un compromis entre les nécessités de desservir le mieux possible des quartiers qui génèrent ou attirent le plus de trafic et les contraintes imposées par des problèmes d'insertion de la plate-forme et des stations sur la voirie existante.

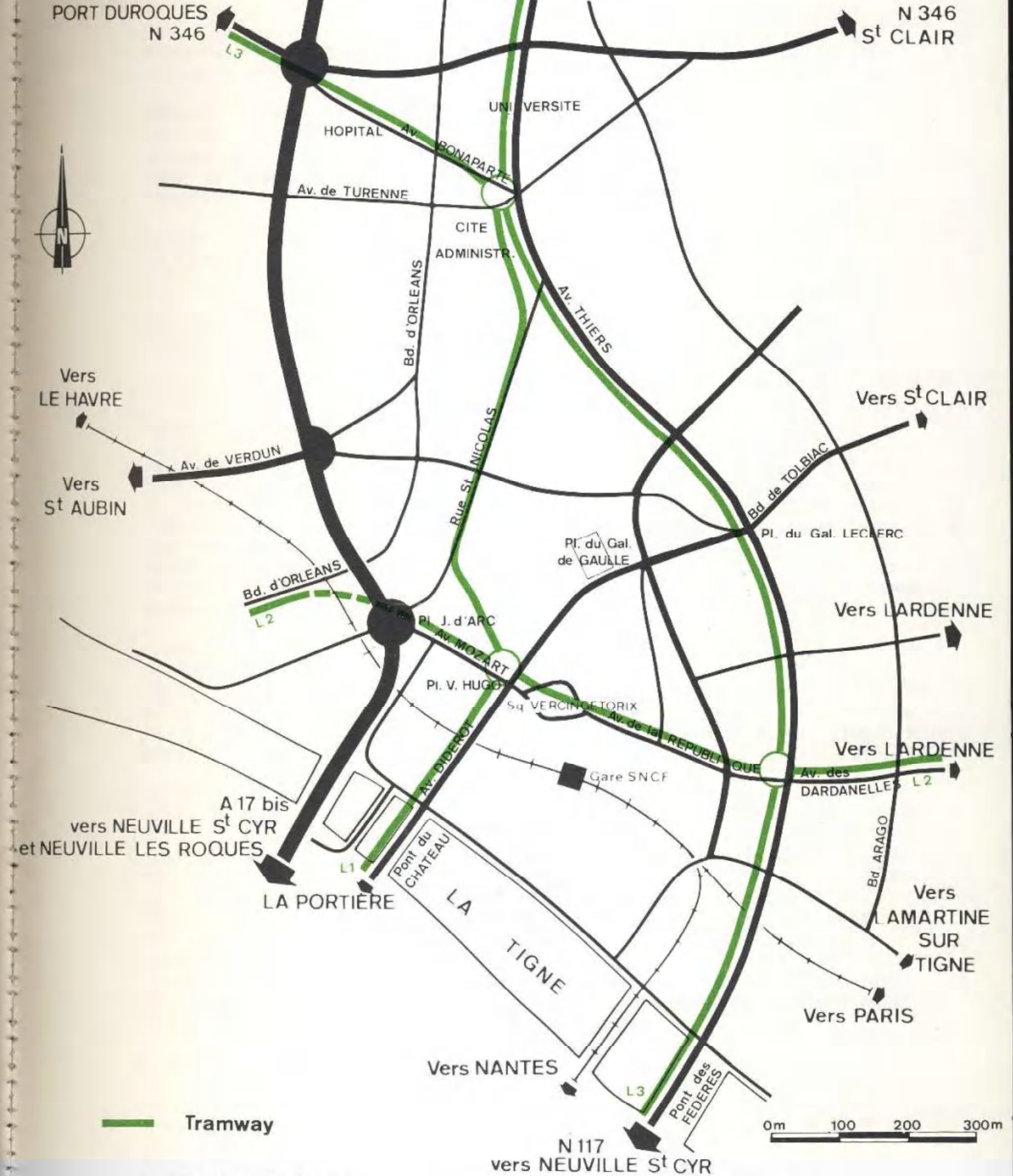
a) - description du tracé des 3 lignes de tramways (cf fig 33.1 et 33.7)

La ligne 1 comporte 2 branches dans sa partie Sud-Ouest. Celle desservant ville Ouest part de l'extrémité Sud de la ville nouvelle qu'elle traverse suivant un axe Nord-Sud en passant par ses principaux centres d'activités, puis elle rejoint la nationale 278 qu'elle longe en direction de l'Est, passe sous l'autoroute A 17 et rejoint plus loin la branche Ouest. Celle-ci dessert la zone industrielle et portuaire située en bordure de la Tigne en empruntant la départementale 84. Le tronc commun est situé sur la nationale 278 aménagée en voie express dans la commune de la Portière puis oblique vers le Nord pour franchir la Tigne sur le pont du Château parallèle au pont autoroutier emprunté par l'autoroute A 17 bis. La ligne pénètre alors dans le centre traditionnel de Neuchateau par l'avenue Diderot, dessert la place Victor Hugo où est située la correspondance avec la ligne 2, puis suit l'itinéraire de la rue Saint Nicolas réservée aux piétons et aux transports publics. Au-delà, le tracé de la ligne 1 traverse le futur secteur universitaire et se dirige vers le nord en suivant l'avenue Thiers, franchit l'autoroute A 127 sur un viaduc et se prolonge jusqu'aux limites Nord de l'agglomération future.

Le trafic maximal horaire prévu pour cette ligne en l'an 2000 atteint 6200 voyageurs au niveau du pont du Château en direction du Sud à la pointe du soir.

La ligne 2 constitue le seul axe Est-Ouest traversant le centre traditionnel. Dans sa partie Ouest elle dessert la zone portuaire et industrielle en longeant la nationale 1278, puis, quittant le bord de la Tigne elle traverse les zones résidentielles situées à l'Ouest du centre de Neuchateau par le boulevard d'Orléans (1), oblique légèrement vers le Sud avant de franchir en viaduc les emprises des voies SNCF, puis en souterrain, l'autoroute urbaine A 17 bis. La ligne 2 pénètre alors dans le centre traditionnel, passe place Jeanne d'arc, (réservée aux piétons et aux transports publics), et coupe la ligne 1 sous la place Victor Hugo; puis, elle suit l'avenue Mozart, passe à proximité immédiate du square Vercingétorix, et traverse l'extension du centre d'affaires. La correspondance avec la ligne 3 est située au coeur du centre d'affaires. Au-delà de l'intersection avec le

(1) - Sur ce parcours elle suit l'itinéraire de l'ancien tramway, supprimé en 1958.



NEUCHATEAU CENTRE VILLE
REPertoire DES RUES
Fig. 33-7

boulevard Arago, le tracé emprunte l'avenue des Dardanelles pour traverser les quartiers denses et populaires situés à l'Est du centre de Neuchateau. Au niveau de l'intersection avec la départementale 19, deux branches se séparent. L'une d'elle continue vers l'Est en direction des nouvelles urbanisations prévues sur la commune de Lardennes-Chatillon. L'autre oblique vers le Nord en empruntant la départementale 19 qui longe la partie Ouest de Lardennes Chatillon, traverse l'autoroute A 127 et se prolonge jusqu'aux limites Nord de l'agglomération.

Le trafic maximal horaire est obtenu au niveau du futur centre d'affaires en direction de l'Ouest, il est parfaitement élevé : 8500 voyageurs à la pointe du soir.

La ligne 3 comporte deux branches dans sa partie Sud. L'une dessert le secteur Est de la Ville Ouest, franchit l'autoroute A 17, puis emprunte l'itinéraire d'une voie express existante qui longe la nouvelle zone industrielle de la Portière, à l'extrémité Nord de cette zone elle rejoint la branche Est. Celle-ci dessert les nouvelles urbanisations des Grésillons-Champigny par la départementale 14.

Le tronc commun emprunte alors la rue des Cordeliers sur sa partie actuellement aménagée en voie express, puis oblique vers le Nord pour traverser la Tigne sur le pont des Fédérés et emprunter, dans le centre de Neuchateau, l'avenue Thiers sur toute sa longueur. Cette avenue est suffisamment large pour que l'insertion du site propre ne pose aucun problème. Les correspondances avec les lignes 2 et 1 sont respectivement situées aux intersections de l'avenue Thiers avec l'avenue de la République (ligne 2) et avec l'avenue Bonaparte (ligne 1).

Au-delà de l'intersection avec la ligne 1, le tracé oblique vers l'Ouest pour traverser en viaduc l'autoroute urbaine A 17 bis et se diriger vers les nouvelles urbanisations de Saint Aubin. Au Sud-Est de Saint Aubin la ligne se scinde en deux branches : l'une en direction du Nord suit la départementale 28, l'autre vers l'Ouest emprunte un tracé parallèle à la nationale 346 jusqu'au niveau de l'autoroute A 17.

Le trafic maximal horaire s'élève pour cette ligne à 5500 voyageurs à la pointe du soir au niveau du pont des Fédérés vers la Portière.

Les lignes 1 et 3 n'ont pas de correspondance dans la partie Sud du centre de l'agglomération : les contraintes imposées par l'insertion du site propre sur voirie n'ont pas permis d'aménager cette correspondance, ni sur la commune de la Portière, ni à proximité de la Tigne dans le centre traditionnel de Neuchateau. Pour éviter de trop longs parcours aux usagers se déplaçant, par exemple, entre ville Ouest et les Grésillons-Champigny, une jonction entre ces deux lignes a été prévue au Sud de la Tigne sur la rue des Cordeliers. Cette jonction permet d'établir des liaisons directes entre les branches Sud des lignes 1 et 3.

L'ensemble du réseau s'étend sur 90 km (28,5 km pour la ligne 1, 29,5 km pour la ligne 2, 30,5 km pour la ligne 3, 1,5 km pour la jonction ligne 2 - ligne 3). Il dessert les principaux pôles d'activité du centre traditionnel : les commerces et grands magasins situés dans la rue Saint Nicolas, où à proximité immédiate; les commerces de luxe, les hôtels, les cinémas et autres établissements de spectacle situés entre la Place Jeanne d'Arc et le square Vercingétorix, le long de l'avenue Mozart; le coeur du centre d'affaires; l'université et l'hôpital universitaire; la gare SNCF. La place

du Général de Gaulle où se trouve l'Hôtel de Ville et la cathédrale, est située à moins de 250 mètres de 3 stations situées sur les lignes 1, 2 et 3. Il est nécessaire de construire 1 km de tunnel et 3 km de viaduc pour franchir des voies autoroutières et des emprises SNCF.

b) - description sommaire du réseau d'autobus (cf fig. 33.5 et 33.7)

Le réseau d'autobus comprend un ensemble de 14 lignes "principales" totalisant 150 km de longueur. Ces lignes bénéficient de couloirs réservés et de priorité aux carrefours dans la partie dense de l'agglomération.

Parmi ces 14 lignes, 7 ont leur terminus dans le centre traditionnel de Neuchateau, tandis qu'une huitième, très longue, suit la rive droite de la Tigne sur toute la longueur de l'agglomération et traverse le centre traditionnel dans sa partie Sud.

Ces 8 lignes complètent les axes lourds parcourus par les tramways afin d'assurer une accessibilité parfaite du centre traditionnel à partir de tous les quartiers périphériques:

Deux lignes complètent la desserte de Ville Ouest et des secteurs Sud-Ouest de la Portière, franchissent la Tigne sur le pont du Château, passent place Victor Hugo puis place du Général de Gaulle, traversent la zone commerciale et aboutissent avenue Thiers où elles sont en correspondance avec la ligne de tramway 3.

La desserte du secteur est de l'agglomération est complétée par une ligne qui suit un tracé parallèle à la Tigne avant d'obliquer vers le Nord pour traverser la Tigne sur le pont des Fédérés, puis irriguer le centre d'affaires et atteindre la place Victor Hugo.

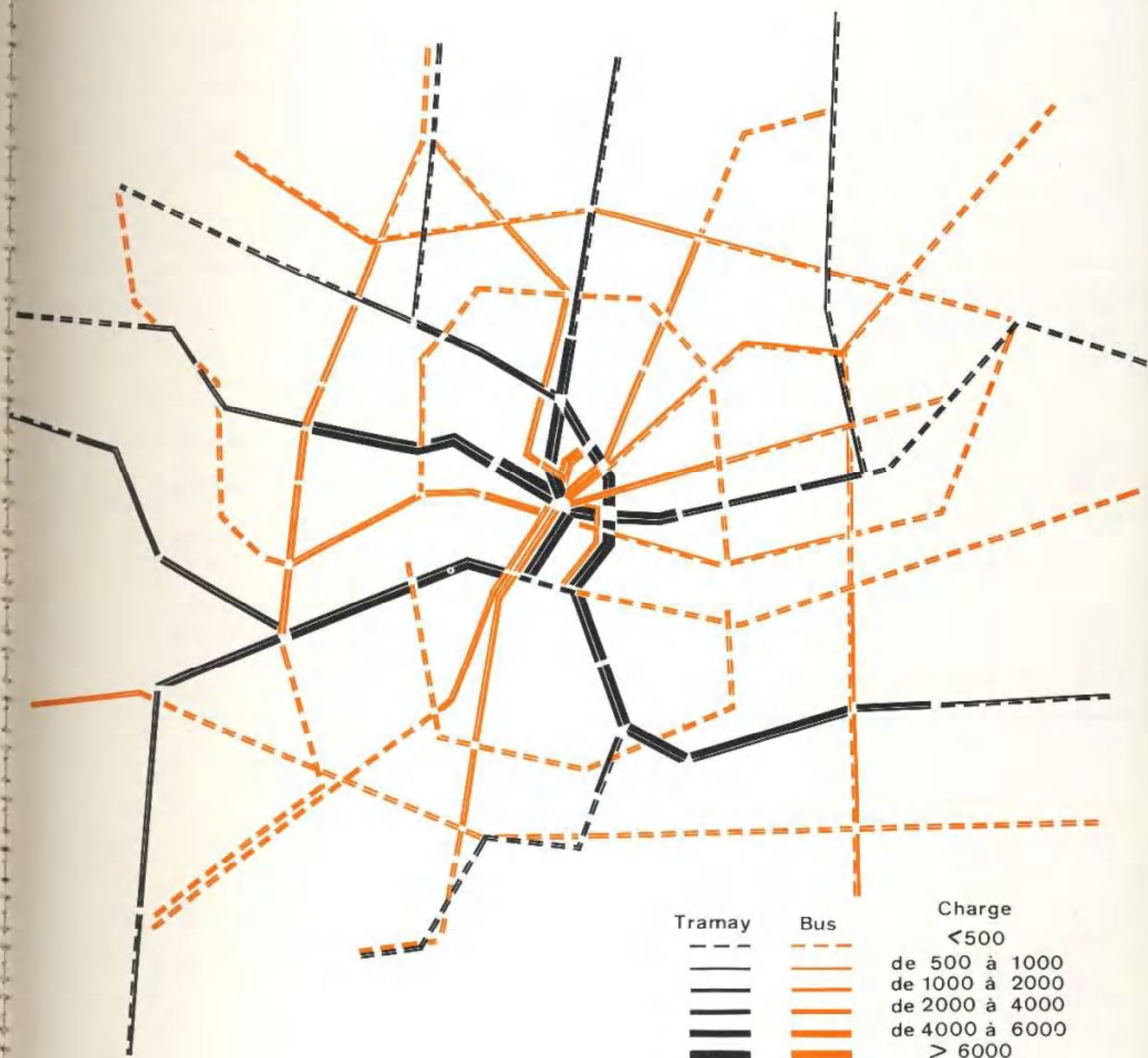
Les quatre autres lignes radiales à destination du centre traditionnel ont aussi leur terminus place de la Gare en correspondance avec les lignes de tramways 1 et 2. L'une suit un itinéraire parallèle à l'avenue des Dardanelles desservant le centre d'affaires et les quartiers populaires de l'Est de Neuchateau. Deux autres relient la place Victor Hugo aux secteurs Nord-Est de Neuchateau et à Lardennes Châtillon en passant par la place du Général de Gaulle et la place du Général Leclerc où elles sont en correspondance avec la ligne de tramway 3. La quatrième, qui emprunte sur une partie de son itinéraire l'autoroute urbaine A 17 bis, dessert Saint Aubin.

Les lignes radiales sont complétées par des lignes rocade :

- . Deux lignes de petite ceinture,
- . Quatre lignes reliant deux à deux les centres des nouvelles urbanisations et empruntant des voies express sur une part importante de leur parcours.

Ces lignes sont en correspondance avec les axes lourds et les lignes d'autobus radiales.

Pour compléter le maillage du réseau, afin de couvrir convenablement toute l'étendue de l'agglomération, des lignes secondaires sont prévues totalisant 200 km d'itinéraire. Au niveau de la préparation du SDAU pour l'horizon 2000 il n'est pas nécessaire de préciser leur tracé.



SDAU 2000

Charge du réseau de transports en commun

Fig.33-8

c) - données globales concernant l'offre et la demande de transport public

Les éléments suivants ont été calculés pour les deux hypothèses de système de transport :

- . système de transport retenu dans le SDAU initial (A)
- . système de transport proposé pour la révision du SDAU (B)

Ils sont complétés par la figure 33.8 représentant la charge du réseau de transport public en heure de pointe du soit pour l'hypothèse B.

	Hypothèse A			Hypothèse B		
	Autobus	TCSP	Total Transport public	Autobus	Tramway	Total transport public
Longueur du réseau	250	11,5	261,5	350	90	440
Parc de matériel roulant ⁽¹⁾	505	40	-	430	150	-
Nombre de véhicules x kms annuels (en millions)	18,7	3,8	-	19,35	11,55	-
Nombre de déplacements journaliers (en milliers) ⁽²⁾	275	103	352	301	475	704
Nombre de voyageurs x kms journaliers (en milliers)	1192	400	1592	1234	1953	3187

(1) - Les capacités des différents types de matériel roulant sont égales à :

- . 70 à 80 pour l'autobus
- . 125 pour les véhicules circulant sur le TCSP
- . 255 pour le tramway.

(2) - Une partie des usagers des transports publics utilisent successivement les deux modes (autobus et TCSP pour A, autobus et tramway pour B):

- . 25% des usagers du TCSP empruntent également l'autobus
- . 15% des usagers du tramway empruntent également l'autobus.

3.3.3.2.2. - Le réseau de voirie rapide et les parkings dans le centre

Nous avons vu précédemment que le réseau de voirie rapide retenu pour le SDAU révisé constituait une partie de celui qui avait été proposé par l'Agence

d'Urbanisme de Neuchâteau dans le SDAU initial (1). En effet, le volume de trafic à acheminer, exprimé en IVP (unité de voiture particulière) est nettement moins élevé lorsque la part des déplacements assurés par les transports publics atteint 40% globalement et 65% pour les liaisons avec le centre.

La comparaison des flux en heure de pointe du soir aux abords du centre traditionnel est significative à cet égard, de même que celle des nombres de places de parking à prévoir à l'horizon 2000 (cf fig 33.9).

Les conséquences de cette réduction de l'utilisation de l'automobile sur la structure du réseau de voirie rapide et le dimensionnement des infrastructures routières et de parkings sont très importantes comme nous allons le voir.

En ce qui concerne l'accès au centre traditionnel, nous avons vu (cf sous-chapitre 1.2.2.) que de nombreuses autoroutes urbaines, un tunnel routier traversant le centre sur un axe Est-Ouest et 5 échangeurs avaient été prévus initialement. Pour écouler le trafic échangé avec l'Est de l'agglomération la création d'une autoroute 2 x 3 voies nécessitant une percée dans le tissu urbain avait été proposée.

Les infrastructures prévues par les responsables de l'étude de révision du SDAU sont beaucoup plus modestes dans le cadre de Neuchâteau :

- aménagement de deux avenues en axes rapides 2 x 2 voies (l'avenue de Verdun à l'Ouest et le boulevard Tolbiac à l'Est, ce dernier se substituant à l'autoroute 2 x 3 voies traversant le tissu urbain),
- 2 échangeurs de taille relativement réduite (un à l'Ouest avec l'autoroute A 17 bis, l'autre à l'Est avec l'avenue Thiers près de la place du Gal Leclerc).

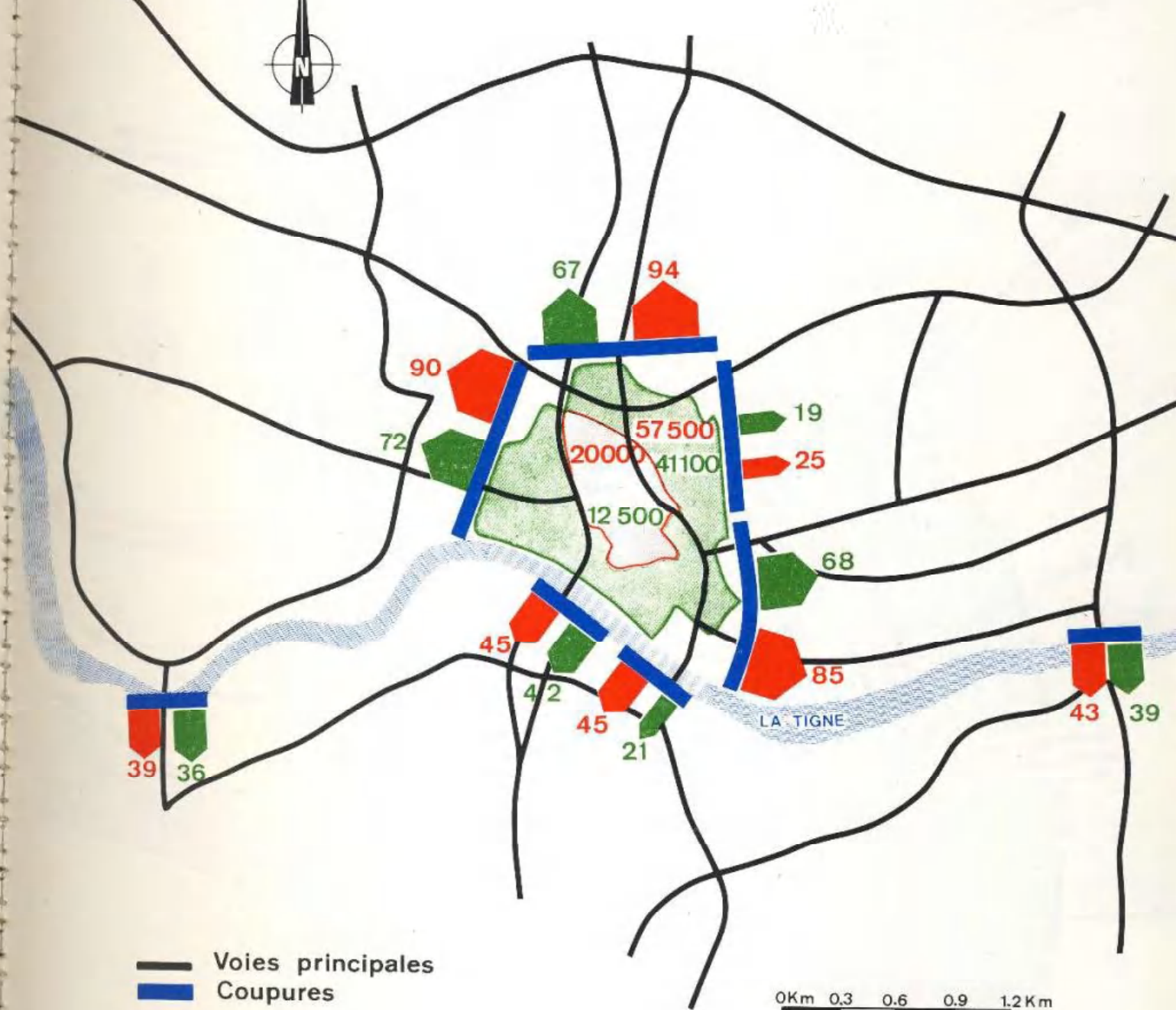
Une schématisation des infrastructures routières, au niveau de l'accès au centre traditionnel, est présentée sur les fig 33.10 et 33.11 pour les deux hypothèses de réseau :

- système de transport retenu dans le SDAU initial (A)
- système de transport proposé pour la révision du SDAU (B).

On notera que dans l'hypothèse B, de nombreuses voies de circulation, actuellement occupées par des véhicules en stationnement, sont affectées à la circulation des autobus ou des tramways.

Les investissements consacrés à la construction de parkings dans le centre de Neuchâteau qui étaient très lourds, puisqu'il convenait d'offrir à l'horizon 2000 près de 19.000 places de stationnement nouvelles, sont réduits considérablement. Deux parkings de 900 places chacun, situés aux débouchés des deux nouvelles voies express sont suffisants pour satisfaire la demande, malgré les files de stationnement récupérées sur la voirie pour la circulation des véhicules de transport en commun.

(1) - A une exception près toutefois, pour l'accès au centre traditionnel par l'Est, ou l'aménagement d'une avenue existante en voie express, non prévue initialement a été retenu dans le nouveau SDAU.



— Voies principales
 — Coupures

Places nécessaires en parking
 5000 Hypothèse A
 5000 Hypothèse B

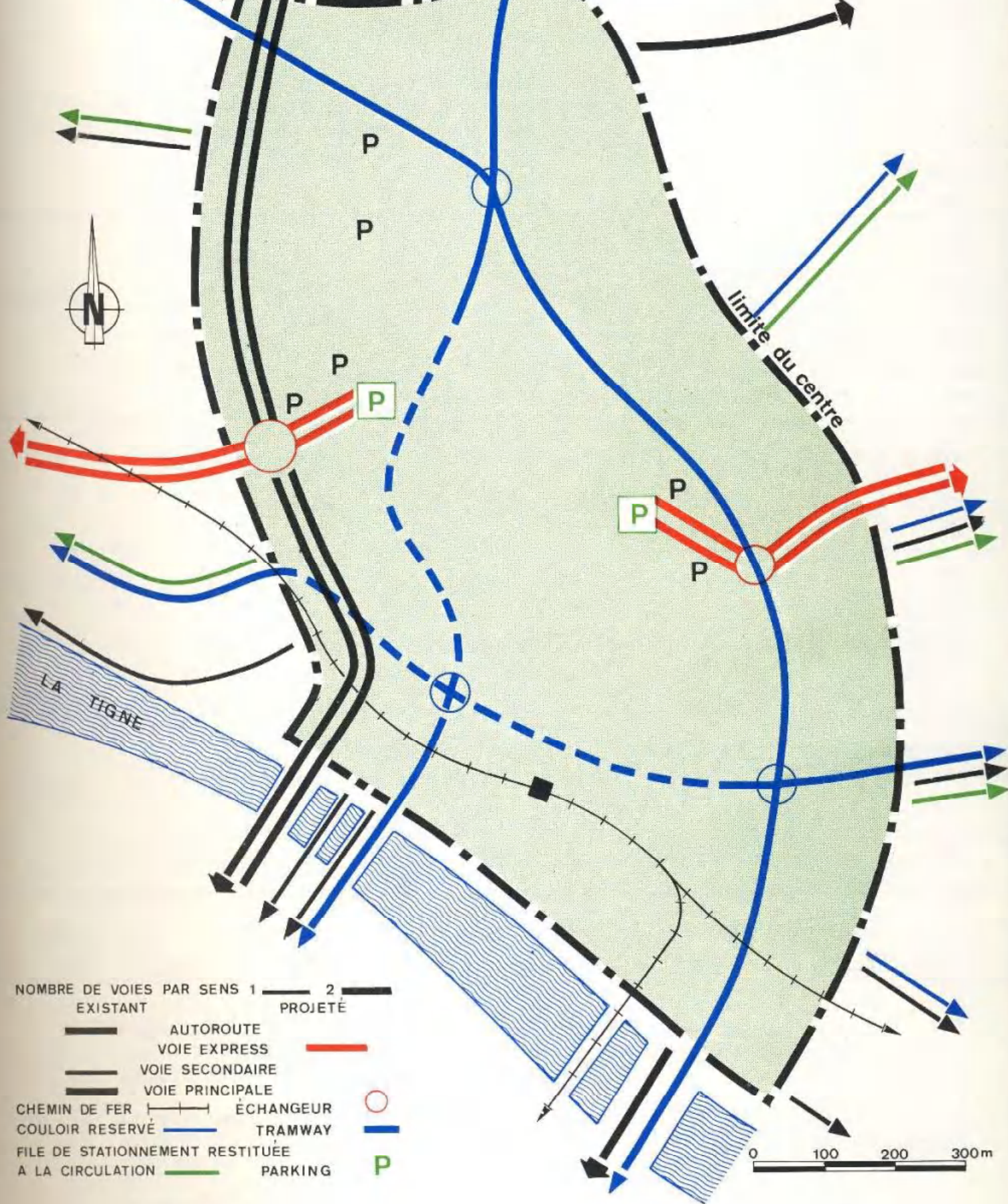
UVP
 Hypothèse A)
 Hypothèse B) en centaines de véhicules

0Km 0.3 0.6 0.9 1.2Km

FLUX AUX COUPURES HEURE DE POINTE DU SOIR

Fig.33.9

Hypothèse A Fig.33-10



DIMENSIONNEMENT DE LA VOIRIE DU SDAU 2000

Hypothèse B

Fig.33-11

Les tableaux suivants donnent les éléments intervenant dans l'estimation du nombre de places de parking à construire entre 1975 et 2000. Les données relatives à la demande comprennent les besoins en stationnement sur voirie et dans les parkings publics des résidents dans le centre.

Hypothèse	Offre actuelle sur voirie (1)		Offre actuelle hors voirie (2)		Places supprimées pour réservations de voies aux transports publics et aménagements de voies express		Solde disponible en 2000	
	Centre	Hypercentre	Centre	Hypercentre	Centre	Hypercentre	Centre	Hypercentre
A	32.000	6.200	7.000	2.400	3.000	200	36.000	8.400
B	32.000	6.200	7.000	2.400	1.600	600	37.400	8.400

(1) - Stationnement illicite compris

(2) - Garages, parkings liés aux emplois, mais parkings hors voirie des résidents exclus.

Hypothèse	Demande de stationnement en 2000		Solde disponible en 2000		Offre supplémentaire liée aux emplois créés entre 1985 et 2000		Déficit en places de parking en 2000	
	Centre	Hypercentre	Centre	Hypercentre	Centre	Hypercentre	Centre	Hypercentre
A	57.500	20.000	36.000	8.400	4.800	1.800	16.700	9.800
B	41.100	12.500	37.400	8.000	6.300	1.800	- 2.600	2.700

Compte tenu d'un taux d'occupation de l'ordre de 90%, il convient de construire 18.600 places de stationnement dans l'hypothèse A, dont plus de 10.000 à proximité ou dans l'hypercentre même.

En revanche, les besoins en parkings publics sont très faibles pour la solution favorable aux transports publics. Globalement, il n'y a pas de problème de stationnement pour l'ensemble du centre traditionnel. Le déficit de 2.700 Places pour l'hypercentre. Néanmoins, les responsables de l'étude de révision du SDAU ont préconisé la construction de deux unités de parking souterrain totalisant 1.800 places.

Hors du centre, les infrastructures de voirie rapide sont également moins développées que celles qui constituaient l'ossature du système de transport prévu initialement.

Un bon nombre d'aménagements de voies existantes en autoroutes urbaines, dans la proche banlieue de Neuchâteau se sont avérés inutiles, compte tenu de la réduction de l'usage de la voiture particulière.

Le réseau de voies express prévu pour desservir les villes nouvelles a été également réduit, dans des proportions moindres toutefois, la totalité des rocades prévus initialement ayant été conservées.

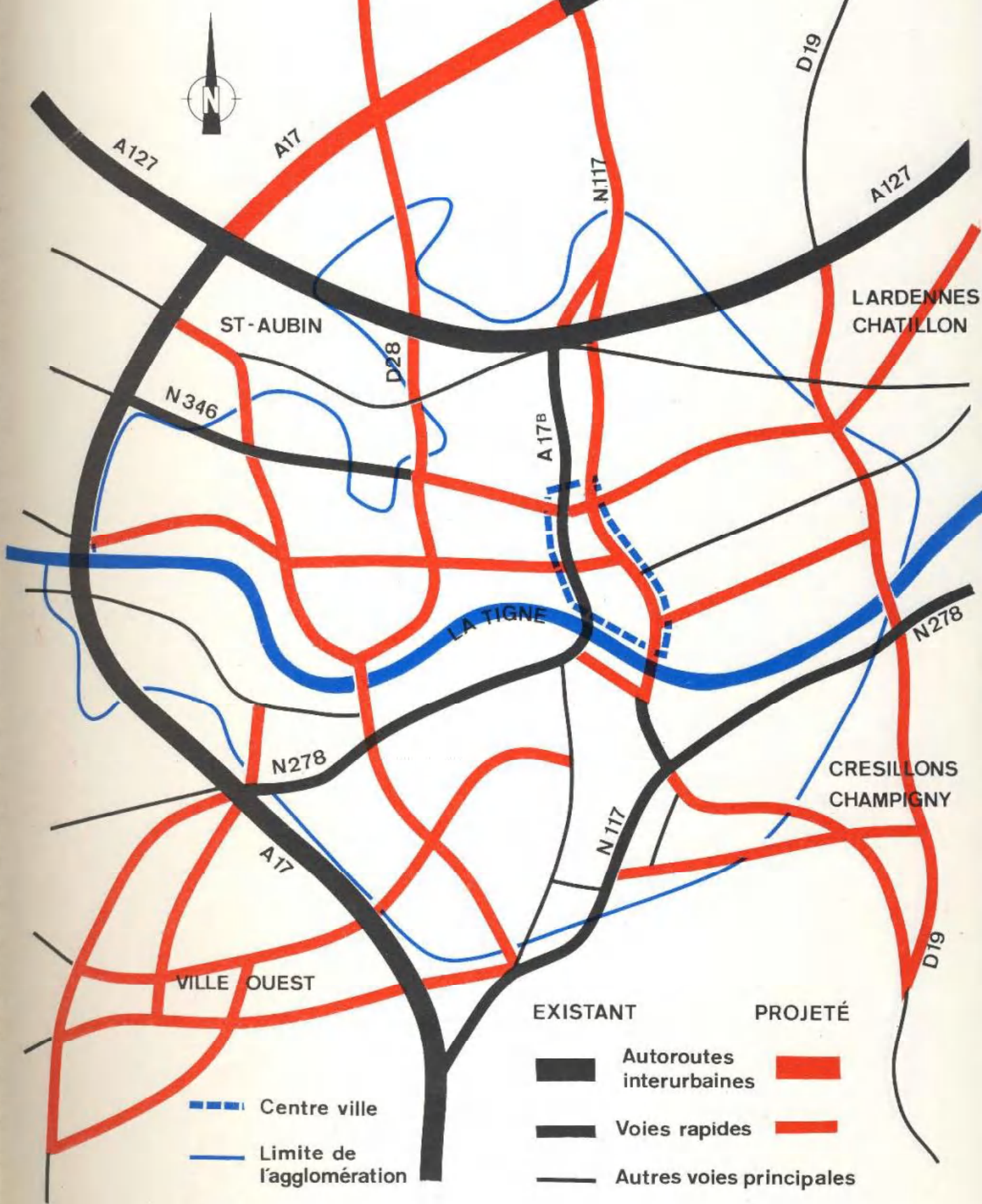
Les figures 33.12 et 33.13 permettent de comparer l'étendue du réseau de voirie rapide pour les deux hypothèses de système de transport.

On notera que pour les deux hypothèses, les mêmes projets concernant l'autoroute interurbaine A 17 et la desserte de l'aéroport (départementale 28) ont été retenus.

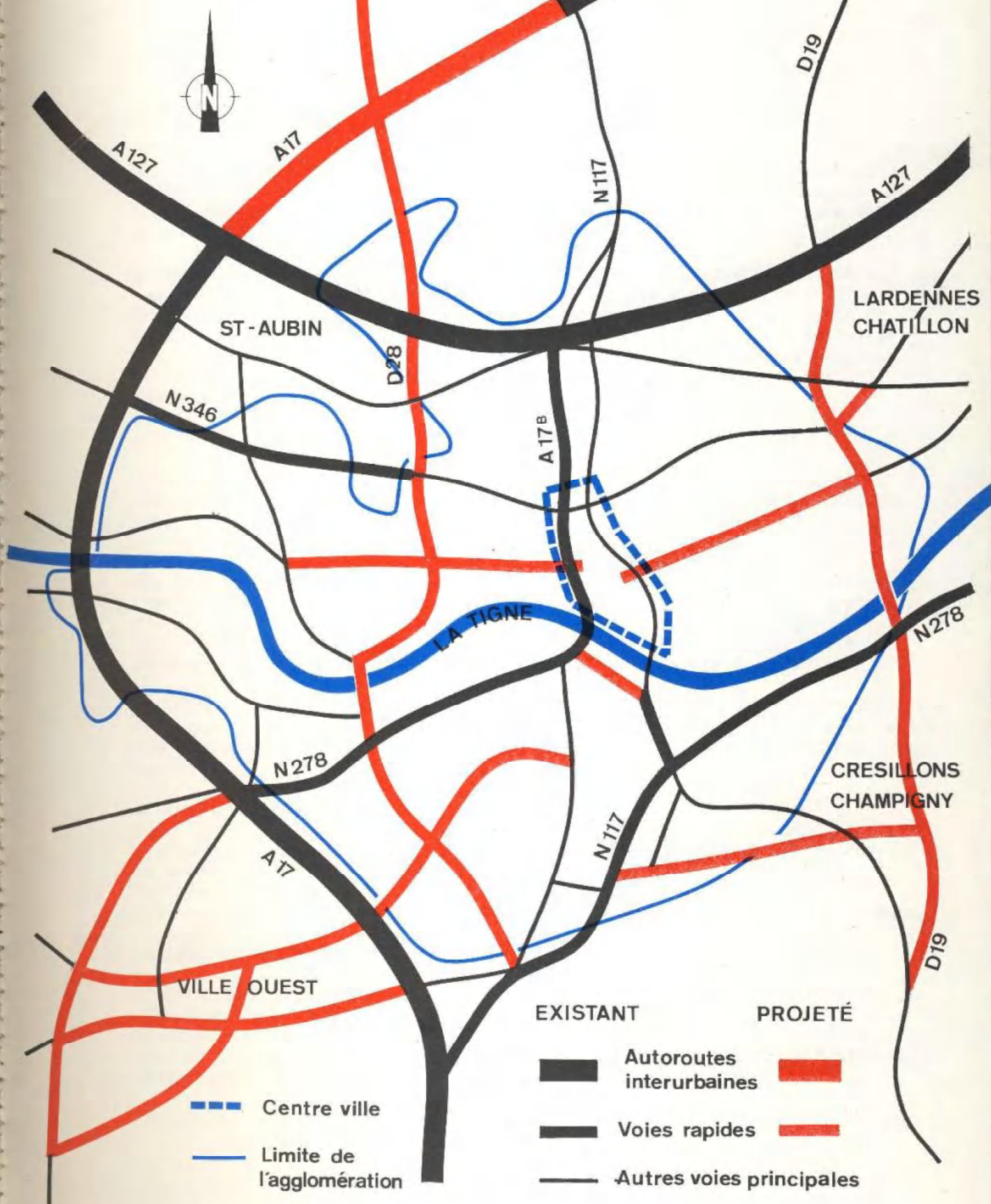
Sur le tableau suivant figurent les longueurs de voirie rapide urbaine classées suivant les catégories correspondant au coût de réalisation (génie civil et acier), pour les deux hypothèses A et B.

Catégorie de voirie rapide	Longueur en Km	
	A	B
Voies en rase campagne en périphérie	72	58
Voies au niveau du sol en banlieue et proche banlieue	26	19
Voies en tranchées en proche banlieue	9,5	5
Voies dans le tissu urbain en proche banlieue	5	2,5
Voies dans le tissu urbain dans le centre	4,5	2,5
Voie en tunnel dans le centre	1	0
TOTAL	118	87

NOTA : Le tronçon à construire sur l'autoroute interurbaine A 17 et la desserte de l'aéroport ne figurent pas ci-dessus.



SDAU 2000 - Hypothèse A
Voirie rapide - Fig. 33.12



SDAU 2000 - Hypothèse B
Voirie rapide - Fig. 33.13

3.3.3.3. - Description du système de transport en 1985

3.3.3.3.1 - Le réseau de transport public (cf fig 33.14)

Dès 1985, l'exploitation des trois axes lourds avec des tramways modernes apparaît indispensable pour écouler la majeure partie des 30.500 usagers des transports publics sortant du centre de Neuchateau pendant l'heure de pointe du soir.

En revanche, l'extension de ces trois lignes vers la périphérie peut être considérablement réduite du fait de la moindre étendue de l'agglomération. Par ailleurs, sur certains itinéraires traversant la banlieue existante de Neuchateau, le niveau du trafic attendu en 1985 ne justifie pas l'exploitation en site propre avec des véhicules de grande capacité. Sur ces sections de lignes des autobus seront utilisés pour rabattre les voyageurs sur les terminus des lignes de tramways.

a) - Description du tracé des trois lignes de tramway

Les troncs communs ont déjà été décrits précédemment (§ 3.3.3.2.1), nous nous contenterons ici de situer les emplacements des terminus des lignes en 1985.

La branche de la ligne 1 desservant ville Ouest est exploitée en totalité dès 1985. En revanche la branche Ouest en bordure de la Tigne n'est pas encore réalisée. Au-delà du secteur universitaire, la ligne 1 n'est prolongée que jusqu'au centre actuel de la commune de Fortépine. Sa longueur atteint 18,5 km, et le trafic horaire maximal au niveau du pont du Château en direction du Sud, s'élève à 4.400 voyageurs à la pointe du soir.

La ligne 2, Est-Ouest, ne comporte pas de branche desservant Lardennes-Chatillon sa longueur est réduite à 13 km. Le trafic horaire maximal, au niveau du centre d'affaires, en direction de l'ouest, atteint 5.000 voyageurs à la pointe du soir.

La ligne 3 ne comporte pas de fourche non plus : la branche vers ville Ouest ou Sud n'est pas prévue, ni la branche desservant le Sud-Ouest de Saint Aubin. L'extension au Sud-Est est assez réduite; par contre, au Nord, la desserte de la partie Est de Saint Aubin est assurée. La longueur de la ligne est de 12 km, son trafic à l'heure de pointe du soir atteint 2.500 voyageurs au niveau de la place du Général Leclerc en direction du Nord.

La jonction entre les lignes 1 et 3 est prévue dès 1985 (1,5 km).

L'utilisation de tramways sur ces trois axes lourds constitue une solution très économique, compte tenu du trafic de pointe attendu en 1985. En effet, au-delà de 2.500 voyageurs/heure les coûts d'exploitation et d'amortissement du tramway sont sensiblement égaux à ceux de l'autobus articulé et inférieurs à ceux de l'autobus. (cf chapitre 2.2)

b) - Description sommaire du réseau d'autobus

Le réseau de 14 lignes "principales" est déjà en place en 1985. L'extension des lignes vers la périphérie est, bien entendu, adaptée au stade de développement de l'agglomération à cet horizon.

Nous ne reviendrons pas sur la description du tracé de ces lignes qui figure en paragraphe 3.3.3.2.1.

Ces lignes "principales" sont complétées par des lignes de rabattement sur les terminus des "axes lourds" empruntant une partie des itinéraires des prolongements des lignes de tramways prévus pour 2000 mais non encore réalisés en 1985 (cf fig. 33-5).

Enfin, un réseau "secondaire" assure un maillage suffisant et le rabattement vers le tramway et les lignes "principales".

L'ensemble du réseau couvre 280 km.

c) - Données globales concernant l'offre et la demande de transport public en 1985

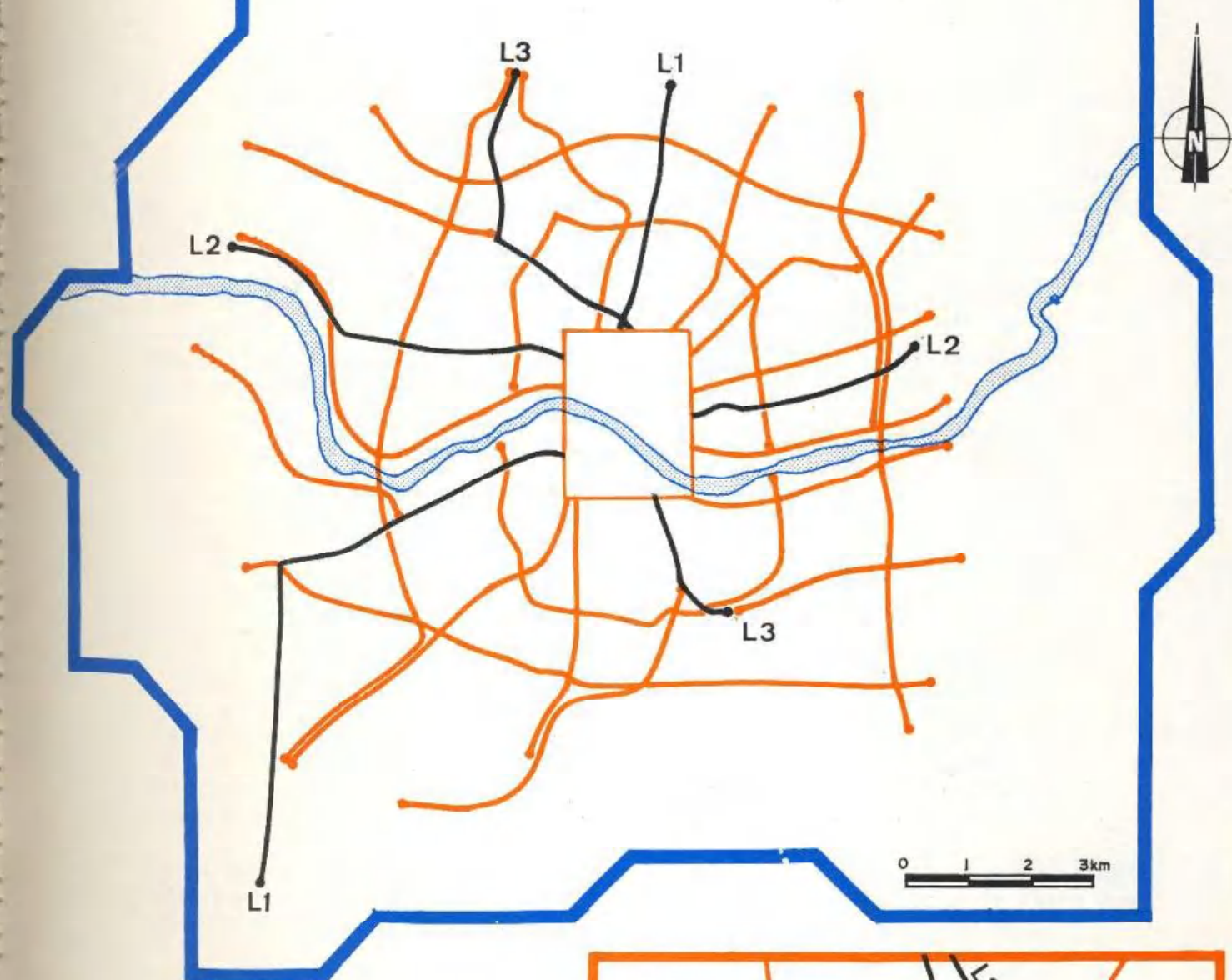
Les éléments suivants ont été calculés pour les deux hypothèses du système de transport :



- système de transport retenu dans l'hypothèse A - étape 1985
- système de transport retenu dans l'hypothèse B - étape 1985

	Hypothèse A			Hypothèse B		
	Autobus	TCSP	Total transport public	Autobus	Tramway	Total transport public
longueur du réseau	210	11,5	221,5	280	45	325
Parc du matériel roulant (1)	315	32	-	365	72	-
Nombre de véhicules x km annuels (en millions)	10,65	2,48	-	14,44	5,70	-
Nombre de déplacements journaliers (en milliers) (2)	186	70	237,5	251	280	475
Nombre de voyageurs x km journaliers (en milliers)	676	260	936	917	1 104	2 021

(1) Les capacités des différents types du matériel roulant sont égales à :

70 à 80 pour les autobus
125 pour les véhicules circulant sur le TCSP
225 pour le tramway

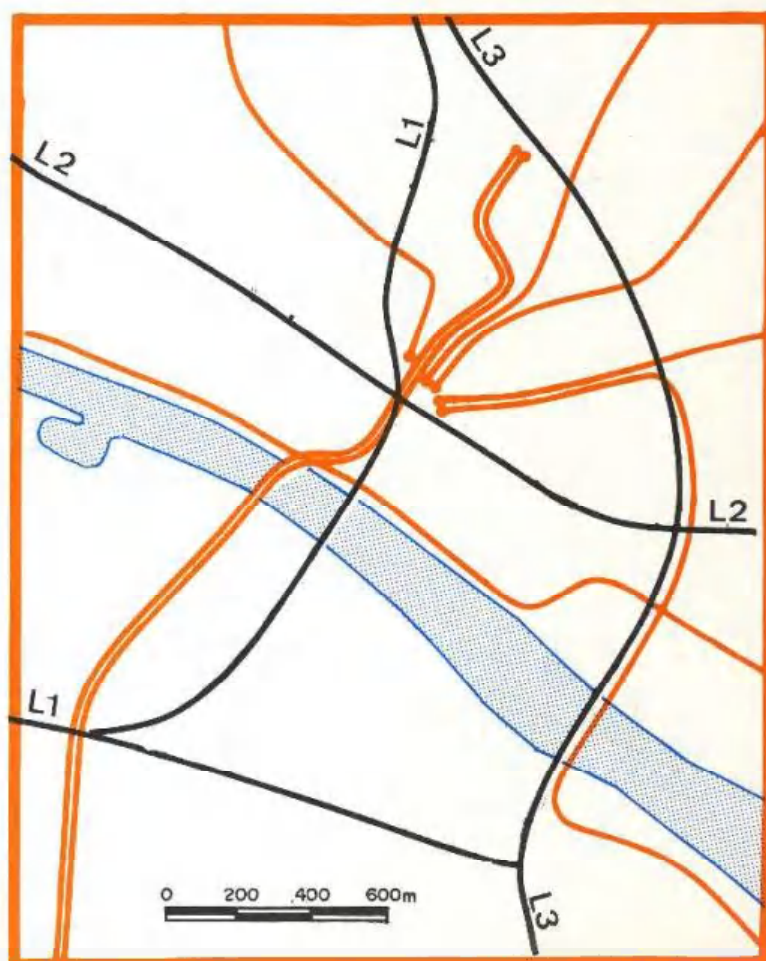


 LIGNE PRINCIPALE D'AUTOBUS
 LIGNE DE TRAMWAY

NEUCHÂTEAU
SDAU 1985

RÉSEAU DE TRANSPORT
EN COMMUN

Hypothèse B
Fig.33-14



- (2) Une partie des usagers des transports publics utilisent successivement les deux modes (autobus et TCSP ou autobus et tramway) :

26 % des usagers du TCSP empruntent également l'autobus

20 % des usagers du tramway empruntent également l'autobus

3.3.3.3.2 - Le réseau de voirie rapide et les parkings dans le centre

L'importance des infrastructures de voirie rapide assurant l'accès au centre traditionnel en 1985 était considérable dans l'hypothèse de répartition modale retenue pour l'hypothèse A (cf fig. 33-15). En outre, 9 600 places de parking devaient être construites à cet horizon.

Bien que la demande de trafic, exprimée en UVP (unité de voitures particulières) soit moins élevée avec les nouvelles hypothèses de répartition modale, il apparaît nécessaire de réaliser dès 1985 la majeure partie de la voirie rapide urbaine prévue pour l'horizon 2000 dans l'hypothèse B (cf fig. 33-16).

De la même façon, les deux unités de parkings, de 900 places chacune, devront être construites avant 1985.

Il n'est pas surprenant que la plupart des investissements de voirie prévus dans le centre pour 2000 doivent être achevés en 1985. En effet, dans 10 ans l'effort de décentralisation entrepris n'aura pas encore porté ses fruits. Seule Ville Ouest sera suffisamment développée pour constituer un pôle d'attraction important et la majeure partie des déplacements s'effectueront, comme maintenant, en direction du centre traditionnel.

En ce qui concerne les infrastructures de voirie rapide liées aux nouvelles urbanisations, l'effort principal devra porter sur la desserte de Ville Ouest, pour laquelle il est prévu 21 km de voie express dès 1985.

Le pont sur la Tigne, situé dans le prolongement de la D 28 et permettant une liaison directe avec la RN 278, devra être achevé en 1985.

Sur le tableau suivant figurent les longueurs de voirie rapide urbaine classées par catégories correspondant au coût de réalisation (génie civil et foncier) pour les deux hypothèses A et B.

Catégorie de voirie rapide	longueur en km	
	A	B
Voies en rase campagne en périphérie	40	29
Voies au niveau du sol en banlieue et proche banlieue	10	4
Voies en tranchées en proche banlieue	4	4
Voies dans le tissu urbain en proche banlieue	3	2,5
Voies dans le tissu urbain dans le centre	3,5	2
Voie en tunnel dans le centre	0	0
TOTAL	60,5	41,5

Nota :

Le tronçon à construire sur l'autoroute A 17 et la desserte de l'aéroport ne figurent pas ci-dessus.

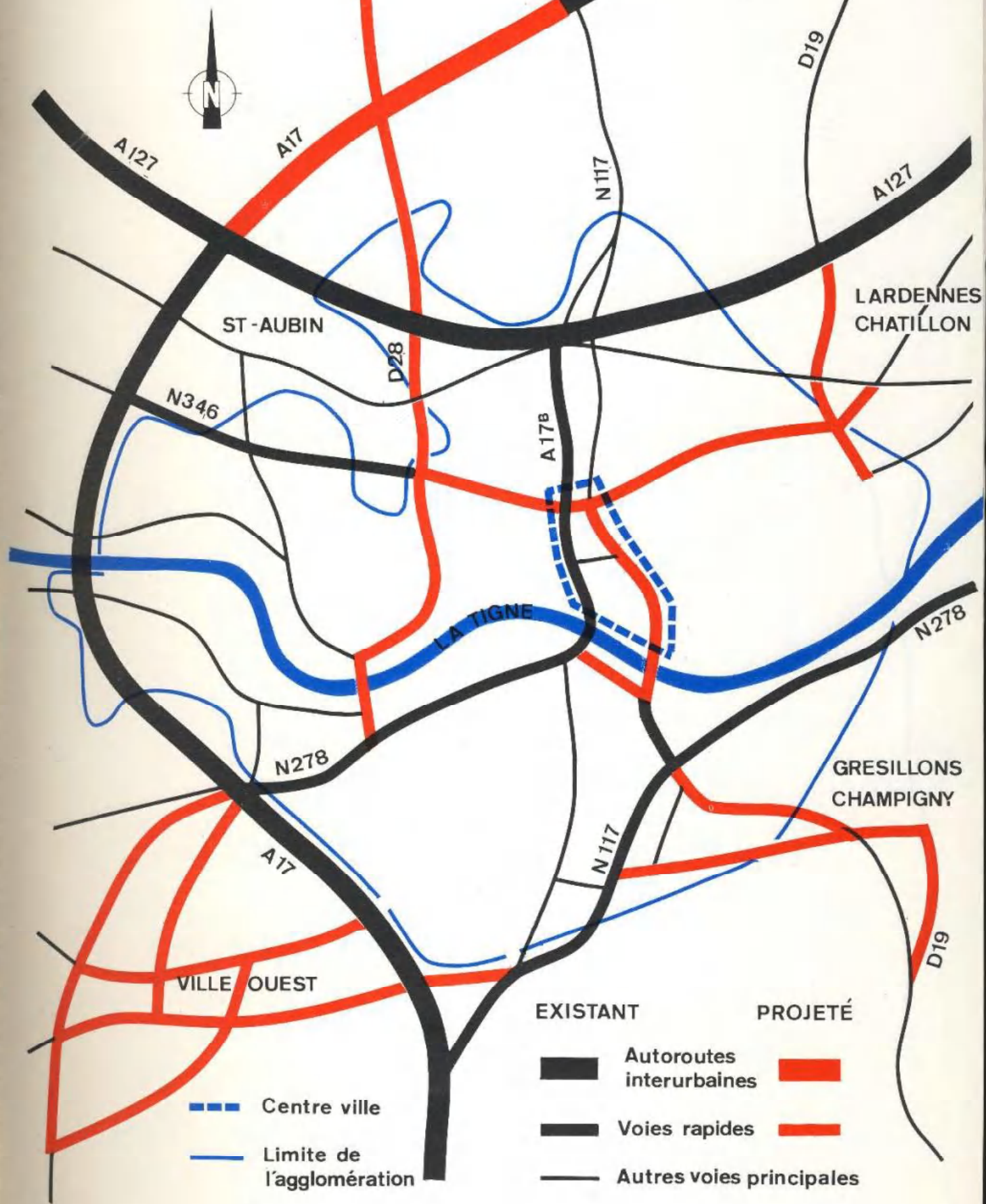
3.3.3.4 - Un plan de circulation favorable aux transports publics pour l'agglomération de Neuchâteau

La volonté des élus de Neuchâteau est d'obtenir, dès 1985, que 40 % des déplacements journaliers soient effectués en transports publics. Cet objectif nécessite la mise en application d'un programme d'action immédiate en faveur des transports publics :

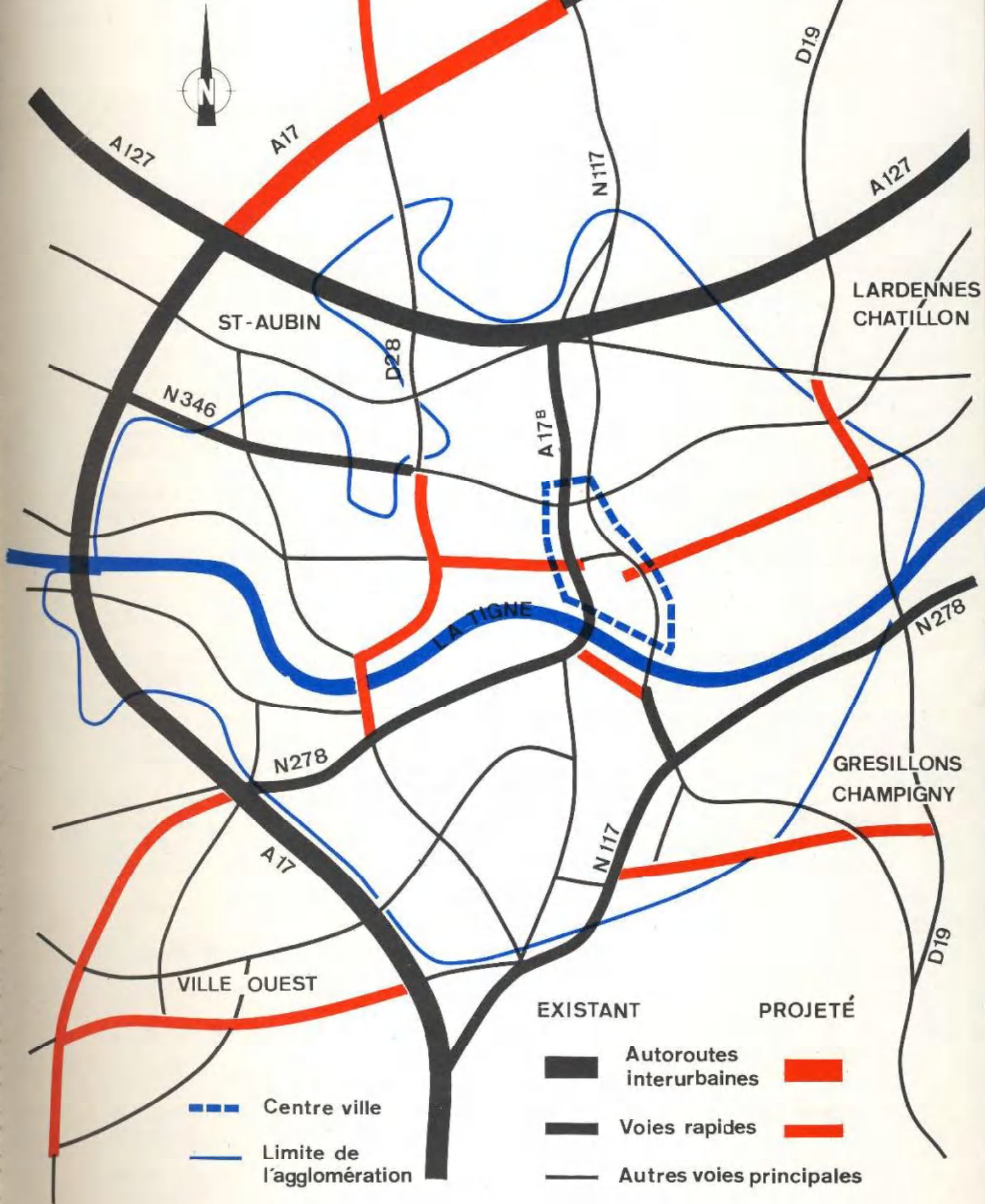
- . L'aménagement des trois axes lourds devra être entrepris dès 1975 : dégagement de la plate-forme du site propre sur voirie, aménagement des arrêts et des commandes des feux aux carrefours ;
- . Le réseau d'autobus sera restructuré : le tracé des lignes actuelles sera modifié de façon à obtenir dès 1977 la structure du réseau décrit pour l'horizon 1985 (axes lourds, lignes principales et lignes secondaires) ; Les lignes parcourant les axes lourds seront d'abord exploitées par des autobus jusqu'à l'achèvement des travaux d'aménagement du site propre permettant de mettre en service les tramways ; lorsque les axes lourds empruntent des voies trop étroites pour permettre la circulation des autobus pendant la durée des travaux, les voies immédiatement parallèles seront utilisées ; les itinéraires empruntés par les lignes principales seront progressivement aménagés (mise en place de couloirs réservés et de commande des feux aux carrefours les plus encombrés-).
- . Le parc d'autobus sera augmenté. Pour l'année 1975, il est prévu d'acheter 50 autobus. Les fréquences de passage sur l'ensemble des lignes seront renforcées aux heures de pointe. La durée du service sera portée à 21 heures.

Toutes les mesures concernant le développement des transports publics seront prises en compte dans le plan de circulation dont les principes sont arrêtés et qui sera appliqué dès 1976. Au fur et à mesure que le niveau de service offert par les transports publics sera amélioré, une politique de limitation de l'accès au centre traditionnel en voiture particulière sera instaurée :

- . réalisation d'une rocade autour du centre traditionnel empruntant l'autoroute A 17 bis, l'avenue Thiers (les carrefours situés place Leclerc et à l'intersection avec l'avenue de la République étant dénivelés) et dans la commune de la Portière, la rue des Cordeliers traitée en voie express ; cette rocade permettra d'éliminer le trafic de transit traversant le centre traditionnel,
- . mise en place d'un système de sens uniques délimitant 4 secteurs à l'intérieur du centre traditionnel et rendant difficile tout échange entre secteurs n'empruntant pas la rocade de protection,
- . mise en place progressive du stationnement payant dans tout le centre d'affaires et le secteur commercial,
- . construction des deux unités de parkings situées aux extrémités de l'avenue de Verdun et du boulevard de Tolbiac, à la périphérie du centre traditionnel,



SDAU 1985 - Hypothèse A
Voirie rapide - Fig. 33.15



SDAU 1985 - Hypothèse B

Voirie rapide - Fig. 33.16

- . aménagement d'une partie de la zone piétonnière prévue à terme dans le triangle formé par le square Vercingetorix, la place Jeanne d'Arc et l'Université, en particulier rue Saint Nicolas et Avenue Mozart, voies qui seront réservées aux transports publics et aux piétons. Des itinéraires destinés principalement à la circulation des deux roues seront aménagés à l'intérieur du centre traditionnel.

3.3.4 - COMPARAISON ECONOMIQUE DES SYSTEMES DE TRANSPORTS URBAINS ET FINANCEMENT DES INFRASTRUCTURES

Les deux systèmes de transport urbain que nous allons comparer, celui de l'hypothèse A et celui de l'hypothèse B correspondent à des orientations différentes en ce qui concerne le mode de développement urbain de l'agglomération et les places réservées respectivement à la voiture particulière et aux transports publics pour assurer les déplacements des habitants.

Il est cependant intéressant de les comparer du point de vue de leurs coûts pour la collectivité.

Nous envisagerons successivement les coûts d'investissement et les dépenses annuelles de fonctionnement à l'horizon en S.D.A.U.

3.3.4.1 - Comparaison des coûts d'investissement et de fonctionnement à l'horizon 2000

3.3.4.1.1 - Dépenses d'investissement

Les éléments détaillés utilisés pour l'évaluation des montants des investissements en transports urbains à consentir entre 1975 et 2000 figurent à l'annexe n° 5. Le programme des différentes opérations n'étant pas défini avec suffisamment de précision, on comparera les montants totaux des dépenses d'investissement calculés aux conditions économiques de Janvier 1975 sans utiliser le concept d'actualisation.

L'évaluation des dépenses ne prend pas en compte la totalité des investissements à prévoir en matière de transport mais seulement ceux qui diffèrent de façon significative entre les deux variantes. C'est ainsi que sont exclues les dépenses consacrées à la construction.

- . des voies express d'intérêt national (autoroute A 17 et A 117),
- . de la desserte du nouvel aéroport,
- . des deux nouveaux ponts sur la Tigne,
- . de la voirie urbaine primaire non rapide et de la voirie secondaire,
- . des parkings situés hors du centre,

à l'aménagement des gares routières et de marchandises ainsi qu'au développement du réseau SNCF.

On envisagera successivement la voirie rapide urbaine, les parkings dans le centre, le réseau d'autobus, les T.C.S.P. et le réseau de tramways.

a) - Voirie rapide urbaine

. montant des investissements pour les deux hypothèses

Catégorie de voirie rapide	Coût unitaire en MF	Nombre de km		Montant investissement en MF	
		A	B	A	B
Voies en rase campagne en périphérie	8	72	58	576	464
Voies au niveau du sol en banlieue et proche banlieue	16	26	19	416	304
Voies en tranchées en proche banlieue	30	9,5	5	285	150
Voies dans tissu urbain proche banlieue	50	5	2,5	250	125
Voies dans tissu urbain centre	70	4,5	2,5	315	175
Voie en tunnel centre	75	1	0	75	0
Total		118	87	1 917	1 218

b) - Stationnement dans le centre

. montant des investissements pour les deux hypothèses

	Coût unitaire en F	Nombre de places		Montant investissement	
		A	B	A	B
Parkings silo	10 000	9 300	0	93	0
Parkings sous-sol	25 000	9 300	1 800	232	45
Total		<u>18 600</u>	<u>1 800</u>	<u>325</u>	<u>45</u>

c) - Réseau d'autobus

Les dépenses d'investissement couvrent les achats d'autobus pour l'accroissement et le renouvellement du parc entre 1975 et 2000, la construction des dépôts et l'aménagement des sites protégés sur les principales lignes.

. montant des investissements pour les deux hypothèses (en MF)

Postes	A	B
Achats d'autobus	310	268
(nombre d'autobus achetés entre 1975 et 2000)	(1290)	(1115)
construction de dépôts	18	11
Aménagements de sites protégés	40	40
Total	<u>368</u>	<u>319</u>

d) - La ligne de T.C.S.P. entre ville Ouest et centre Neuchâteau (hypothèse A)

Les coûts d'investissements comprennent le génie civil et les équipements fixes (au total 23 millions de francs par km) pour l'ensemble de la ligne, longue de 11,5 km et comportant 12 stations, les achats de matériel roulant (40 véhicules de 125 places à 2 millions de F l'unité) et la construction d'ateliers.

. montant des investissements (en MF)

Génie civil	173
Equipements fixes	92
Matériel roulant	80
Ateliers	8
Total	<u>353</u>

e) - Le réseau de tramways (hypothèse B)

Les dépenses comprennent les investissements en génie civil et équipements fixes, l'achat de matériel roulant et la construction d'ateliers. Nous avons vu précédemment que le réseau comportait 3 lignes pour une longueur totale de 90 km, 86 km sont situés au niveau du sol, le plus souvent sur la voirie (zone urbanisée) ou parallèle à la voirie (extension future de l'agglomération). Le franchissement d'autoroutes, voies express et lignes de chemin de fer nécessite la construction de 3 km de viaduc.

Enfin, il est prévu d'enterrer deux des trois lignes dans la traversée du centre ville sur une partie de leur itinéraire, ce qui conduit à une longueur de 1000 m de tunnel.

Les coûts unitaires de génie civil s'élèvent respectivement à :

5 MF du kilomètre au niveau du sol,

15 MF du kilomètre en viaduc,

80 MF du kilomètre en tunnel.

Les coûts unitaires concernant les équipements fixes figurent à l'annexe n° 2. Le matériel roulant choisi a été évalué à 2,7 millions de francs l'unité (tramway élément long, 3 caisses sur 4 bogies, gabarit large comportant 255 places).

Le parc s'élève à 150 véhicules.

. montant des investissements en MF

Génie civil	555
Equipements fixes	315
Matériel roulant	405
Ateliers	37
Total	<u>1 312</u>

f) Montant total des investissements pour les deux hypothèses A et B (en MF)

Postes	A	B
Voirie rapide	1 917	1 218
Stationnement dans le centre	325	45
Réseau d'autobus	368	319
T.C.S.P.	353	0
Réseau de tramways	0	1 312
Total	<u>2 963</u>	<u>2 894</u>

L'hypothèse alternative faisant un large appel au système de transport public apparaît légèrement moins coûteuse, la différence n'étant pas vraiment significative.

Les dépenses à consacrer aux travaux de voirie et de parking sont inférieures de 1000 millions de francs. Cette économie pour la collectivité provient de l'application d'une stratégie réellement favorable aux transports publics.

Rappelons que dans le SDAU initial, préparé par l'agence d'urbanisme, le montant des investissements imputés à la voirie et au stationnement était le même pour les deux variantes envisagées (avec ou sans T.C.S.P.). La mise en exploitation de la ligne entre ville Ouest et le centre de Neuchâteau qui représente une dépense de 350 millions de francs ne permettait pas de faire la moindre économie sur le réseau de voies express urbaines.

Bien entendu, les dépenses à prévoir pour la mise en service du réseau de transport public dans l'hypothèse B, qui s'élèvent à près de 1 630 millions de francs sont supérieures à celles envisagées pour les transports en commun dans le SDAU initial (un peu plus de 700 millions de francs). Mais la rentabilité des investissements de transports publics est bien plus élevée dans l'hypothèse B où, pour une dépense de 615 millions de voyageurs-kilomètres annuels, soit 2,13 francs par voyageurs x kilomètre annuel, contre 350 millions de francs alloués au T.C.S.P. pour un trafic annuel de 126 millions de voyageurs x kilomètre soit 2,80 francs par voyageur x kilomètre annuel.

3.3.4.1.2 - Dépenses annuelles de fonctionnement

Les éléments détaillés utilisés pour l'estimation des dépenses de fonctionnement du système de transport à l'horizon 2000 figurent à l'annexe n° 6. Le montant des dépenses annuelles est évalué aux conditions de janvier 1975, T.V.A. incluse comme cela est d'usage pour les comparaisons économiques, mais taxes spécifiques sur les carburants exclues.

Le calcul prend en compte les dépenses de fonctionnement suivantes :

- . dépenses d'utilisation des voitures particulières et des deux roues pour les déplacements urbains,
- . dépenses d'exploitation des réseaux de transport public,
- . coût des accidents de la circulation,
- . dépenses d'entretien de la voirie rapide urbaine.

a) - Coûts unitaires d'utilisation des différents modes de transport

. Voiture particulière - 2 roues

	Coût kilométrique en centimes	
	Coût hors taxes carburant	Coût total
Voitures particulières	22,2	30,5
2 roues	3,5	5

. Autobus

Le calcul du coût de la voiture x kilomètre a été effectué sur les données d'une ligne moyenne, longue de 10 kilomètres, dont le trafic horaire de pointe est de 750 voyageurs dans le sens le plus chargé.

La vitesse commerciale a été supposée différente suivant la variante de système de transport considérée.

Elle est estimée à 13 km/h dans l'hypothèse A et à 16 km/h dans l'hypothèse B où les bandes réservées sont plus nombreuses et la circulation automobile moins dense.

Postes	Coût à la voiture x km (franc)	
	A	B
Conduite et encadrement exploitation	2,38	1,94
Carburants (hors taxes spécifiques)	0,41 (0,26)	0,41 (0,26)
Entretien des autobus et remise en état du matériel accidenté - entretien des dépôts	1,07	1,02
Entretien des installations fixes (protection des sites propres, arrêts, équipements de régulation et de perception)	0,15	0,15
Frais d'administration et de direction	0,33	0,29
Total	<u>4,34</u>	<u>3,81</u>
Total hors taxes sur les carburants	(<u>4,19</u>)	(<u>3,66</u>)

Les chiffres précédents ne comprennent pas les primes d'assurance, prises en compte dans l'évaluation des coûts des accidents et la taxe sur les recettes.

. T.C.S.P. entre ville Ouest et centre de Neuchâteau (hypothèse A)

Le calcul du coût à la voiture x kilomètre a été estimé à partir des données disponibles concernant le métro d'une part et le tramway d'autre part.

Nous avons supposé qu'il n'y avait ni agent en station, ni conducteur dans les rames : le personnel se réduisant à 6 agents surveillant la ligne et 2 agents au P.C.C. Notons qu'il n'existe pas pour le moment d'exemple de véhicule de 125 places circulant sans agent à bord. Cette hypothèse très optimiste conduit à minorer les dépenses d'exploitation.

Postes	Coût annuel en MF	Coût à la VK en francs
Personnel de surveillance	1,15	0,30
Service central de l'exploitation et PCC	0,60	0,16
Energie de traction	2,28	0,60
Energie hors traction	0,12	0,035
Entretien du matériel roulant et des ateliers	3,04	0,80
Entretien du pilotage automatique	1,00	0,26
Entretien des installations fixes	2,25	0,59
Dépenses de perception liées au trafic	0,10	0,025
Personnel administratif	0,72	0,19
Total	<u>11,26</u>	<u>2,96</u>

. Tramways (hypothèse B)

Le coût du véhicule x kilomètre pour le tramway long, (deux éléments, 3 caisses sur 4 bogies, gabarit large de 255 places) est détaillé au chapitre 2-2 et à l'annexe n° 2.

Pour le trafic horaire de 6000 voyageurs, dans le sens le plus chargé, il s'élève à 4,24 F hors dépenses d'assurances (celles-ci sont comptabilisées dans les coûts des accidents) et se décompose de la façon suivante :

Postes	Coût à la voiture x km (francs)
Conduite et encadrement exploitation	0,94
Energie de traction	1,00
Energie hors traction	0,07
Entretien du matériel roulant et remise en état du matériel accidenté - entretien des ateliers	1,56
Entretien des installations fixes (voies, stations, lignes aériennes, installations électromécaniques et de sécurité) et frais de perception	0,40
Frais d'administration et de direction	0,26
Total	<u>4,24</u>

b) - Coût des accidents de la circulation

Pour les moyens individuels, le coût des accidents au véhicule x kilomètre est actuellement voisin de 0,12 francs.

Pour les autobus, on admet en général un coût de 0,15 francs, par voiture x kilomètre.

En ce qui concerne les tramways nous avons retenu la valeur de 0,32 francs par voiture x kilomètre qui peut être considérée comme une borne supérieure. En effet, il est vraisemblable que le tramway circulant sur un site propre très protégé, les accidents seront beaucoup moins nombreux que pour une exploitation de type classique.

Un coût de 0,01 franc par voiture x kilomètre a été retenu pour le T.C.S.P., montant comparable à celui constaté sur le métro parisien.

c) - Dépenses d'entretien de la voirie

On évaluera seulement la différence des dépenses d'entretien annuelles de la voirie urbaine rapide entre les deux variantes.

Cet écart, à l'avantage de l'hypothèse B, provient de la différence de longueur du réseau rapide et dans une moindre mesure de la différence de volume du trafic exprimé en véhicules x kilomètres annuels.

On obtient une valeur minimale de ce gain en se limitant à prendre en compte le premier facteur : extension du réseau de voirie rapide urbaine.

Les dépenses annuelles d'entretien sont estimées, pour ces infrastructures, à 1,5 % du coût du génie civil et d'équipement.

Hypothèse	Longueur du réseau rapide (km)	Coût du réseau (foncier exclu) (en MF)	Dépenses annuelles d'entretien (en MF)
A	118	1 003	15,0
B	87	649,5	9,7

d) - Montant total des dépenses annuelles de fonctionnement pour les deux hypothèses A et B

Postes	A	B
<u>Coût d'utilisation (*)</u>		
. Voiture particulière	384,9	312,1
. Deux roues	13,8	11,3
. Autobus	78,3	70,8
. T.C.S.P.	11,3	0
. Tramways	0	49,0
<u>Coût des accidents</u>	258,4	214,0
<u>Coût d'entretien de la voirie rapide</u>	15,0	9,7
Total	<u>761,7</u>	<u>666,9</u>

(*) Le coût d'utilisation ne comporte pas les taxes spécifiques sur les carburants.

Les principaux éléments de comparaison des deux hypothèses concernant les dépenses de fonctionnement sont rassemblés dans le tableau suivant :

	A	B
Dépenses annuelles de fonctionnement des moyens individuels en MF (1)	655	531
Dépenses annuelles de fonctionnements des transports publics en MF (1)	92	126
Dépenses annuelles d'énergie en MF (1)	246	210
Dépenses totales annuelles de fonctionnement en MF (1)	762	667
Dépenses de transport annuelles par habitant en francs (1)	866	758
Dépenses annuelles par voyageur x km annuels en francs (1)	0,242	0,211
Dépenses annuelles par voyageur x km annuels - transport en commun seulement - en francs (1)	0,183	0,126

Le système faisant un large appel aux transports publics est nettement plus avantageux du point de vue des dépenses de fonctionnement. Le gain annuel pour l'hypothèse B s'élève, hors taxe sur les carburants à près de 95 millions de francs et atteint, toute taxes comprises, plus de 120 millions de francs.

Ce gain provient essentiellement de la diminution des dépenses liées à l'usage de la voiture particulière et des deux roues : environ 530 millions de francs dans l'hypothèse B contre 655 millions de francs dans l'hypothèse A.

Par ailleurs, si les dépenses de fonctionnement des transports publics (2) pour l'hypothèse B sont supérieures (126 MF par an contre 92 MF pour A) on constate que le coût du voyageur x km transporté est moindre : 12,6 centimes pour le système de transport B contre 18,3 centimes pour A.

3.3.4.1.3 - Consommation d'énergie

L'examen des dépenses annuelles d'énergie (carburant et électricité), fait apparaître une économie à l'actif de l'hypothèse B. La consommation d'énergie consacrée aux déplacements urbains des habitants de Neuchâteau est en effet nettement inférieure dans l'hypothèse B comme l'indique le tableau suivant :

(1) Taxes spécifiques sur les carburants exclues

-(2) coût des accidents compris

Mode de déplacement	A		B	
	10 ⁶ thermies	10 ³ T.E.C.	10 ⁶ thermies	10 ³ T.E.C. *
VP et 2 roues	1 996	249,5	1 619	202,0
Autobus	64	8,1	67	8,3
TCSP ou tramway	10	2,6	50	13,1
TOTAL	<u>2 070</u>	<u>260,2</u>	<u>1 736</u>	<u>223,4</u>

* T.E.C. = tonne équivalent charbon

NB : les hypothèses utilisées pour le calcul des équivalents énergétiques sont explicitées à l'annexe n° 6.

3.3.4.2 - Dépenses d'investissement à consacrer aux transports urbains d'ici 1985

Le calcul du montant des investissements à consacrer aux transports urbains entre 1975 et 1985 repose sur les caractéristiques des systèmes de transport présentées, au § 3.3.3.3. pour les deux hypothèses A et B.

Les principales hypothèses de calcul sont indiquées ci-après :

- . Les coûts unitaires concernant la voirie urbaine, les parkings, le matériel roulant, les infrastructures et les équipements fixes des divers modes de transports publics sont ceux détaillés précédemment.
- . La moitié des 9 600 places de parking prévues en 1985 pour l'hypothèse A est construite en souterrain, l'autre moitié en silo. La totalité des 1 800 places est réalisée en souterrain pour l'hypothèse B.
- . Compte tenu du volume et de l'âge du parc d'autobus en 1974, il convient d'acheter d'ici 1985 :

320 autobus pour l'hypothèse A

400 autobus pour l'hypothèse B

La durée de vie des véhicules étant de 10 ans.

- . Le transport en commun en site propre reliant Ville Ouest à Neuchâteau est supposé terminé en 1985, le parc de véhicules est de 32 pour un flux horaire maximal de 4 000 voyageurs.
- . Le réseau de tramway qui s'étend sur 45 km comprend 1 km en tunnel et 2 km en viaduc, le reste du réseau étant implanté sur la voirie existante ou future. Le parc de véhicules s'élève à 72.

Montant comparatif des investissements (en MF) pour la période 1975-1985

Postes	A	B
Voirie rapide urbaine hors du centre	600	416
Voirie rapide urbaine dans le centre	395	265
Parkings dans le centre	168	45
Total voirie rapide et parkings	1 163	726
Achats d'autobus	77	96
Dépôts et sites protégés	21	30
Total réseau d'autobus	98	126
TCSP Génie civil, équipements fixes et ateliers	273	0
TCSP matériel roulant	64	0
Total TCSP	337	0
Réseau de tramways : génie civil	0	320
Réseau de tramways : équipements fixes et ateliers	0	186
Achats de matériel roulant	0	194
Total réseau de tramways	0	700
TOTAL GENERAL	1 598	1 552

Postes	A	B
Voirie rapide urbaine	61 %	60 %
Parkings dans le centre	52 %	100 %
Réseau d'autobus	27 %	39 %
T.C.S.P.	95 %	-
Réseau de tramways	-	53 %
Total général	<u>53,9 %</u>	<u>53,6 %</u>

Les montants des dépenses à allouer aux transports urbains entre 1975 et 1985 sont très voisins pour les deux stratégies. Ils correspondent à un effort de 314 francs par habitant pour A et de 305 francs par habitant pour B (1), la population étant celle de 1973 (510 000 habitants).

On constate que plus de la moitié des investissements prévus pour la période du SDAU doivent être réalisés avant 1985, pour redresser rapidement la situation actuelle des transports urbains.

3.3.4.3 - Financement des investissements et charges de la communauté urbaine de Neuchâteau

En règle générale, les clefs de financement sont, en moyenne, actuellement les suivantes pour les investissements en transport public (cf directives ministérielles, circulaire n° 73-169 du 25.9.73 - annexe III : règles de financement des infrastructures de transport équipements d'exploitation et autres dépenses) :

Voirie : Etat : 40 %
 Municipalités : 60 %

Infrastructure de transport public :
 Etat : 50 %
 Municipalités : 50 %

Matériel roulant (transport public) :
 Etat : 0 %
 Municipalités : 100 %

En ce qui concerne les investissements consacrés aux parkings, on a supposé qu'il se répartiront également entre le secteur privé et la municipalité de Neuchâteau.

(1) Les investissements consacrés aux autoroutes interurbaines, à la desserte de l'aéroport, à la modernisation du réseau SNCF, aux gares routières et à la voirie secondaire sont exclus de la comparaison.

Compte tenu des hypothèses précédentes les charges de la communauté Urbaine de Neuchâteau (en MF) pour chacune des deux hypothèses sont les suivantes pour la période 1975-1985 :

Postes	A	B
Voirie rapide urbaine	597	409
Parkings dans le centre	84	22,5
Réseau d'autobus	87,5	111
T.C.S.P.	200,5	0
Réseau de tramways	0	447
Total général	969	989,5

Pour les deux solutions, la charge pour la communauté urbaine de Neuchâteau est pratiquement la même, avec cependant un léger avantage pour l'hypothèse A. Cet avantage pourrait bien être accru si, comme cela est souvent prévu, la part des subventions fournies par l'état pour financer les infrastructures du TCSP, considéré comme mode nouveau, était supérieur à 50 %

Avec les règles de financement actuellement en vigueur, les élus de Neuchâteau risquent donc d'être conduits à choisir le système de transport le moins avantageux pour la collectivité.

Le choix du système favorable aux transports publics est d'autant plus difficile à effectuer qu'il se traduira vraisemblablement, pendant les premières années, par un déficit accru des compagnies exploitantes, déficit qui devra être financé par les impôts locaux et le versement transport.

Pour assurer le développement des transports collectifs urbains, les règles de financement devront être modifiées. La part des subventions accordées aux transports publics devra être accrue. Il conviendrait aussi que les investissements consacrés à l'achat du parc de matériel roulant bénéficient d'une aide publique analogue à celle accordée pour les infrastructures, si l'on veut favoriser des solutions du type de celle retenue pour Neuchâteau. En effet, lorsqu'on instaure un partage plus équitable de la voirie entre voitures particulières et véhicules de transport public et qu'on renonce aux infrastructures lourdes et coûteuses, la part des dépenses d'investissement consacrées au matériel roulant peut atteindre un tiers des dépenses totales.

3.3.5 - CONCLUSION

Le bilan économique présenté au sous-chapitre précédent fait apparaître un avantage net en faveur de la solution favorable aux transports publics :

- *coûts d'investissement sensiblement égaux (légèrement à l'avantage de l'hypothèse B) ;*
- *gain de 12 % sur les dépenses de fonctionnement ;*
- *gain de 14 % sur les dépenses d'énergie ;*

Toutefois l'intérêt du système de transport retenu par les auteurs de l'étude de révision du SDAU de Neuchâteau ne se limite pas au domaine purement économique, mais concerne de nombreux aspects de la vie urbaine :

- *réalisation d'un équilibre harmonieux entre les centres secondaires et le centre traditionnel dont l'attractivité restera élevée*
- *mise en place d'un système s'adaptant facilement aux besoins de la population au fur et à mesure de l'évolution de l'urbanisation tout en exerçant un effet structurant le long des "axes lourds".*
- *amélioration du cadre de vie des citoyens*
- *amélioration de l'accessibilité aux diverses activités urbaines pour tous les habitants.*

L'évolution de l'impact du système de transport sur ces multiples aspects n'est pas toujours aisée ; dans bien des cas seul un jugement qualitatif peut être formulé. Néanmoins un certain nombre d'indicateurs traduisant le degré de réalisation des objectifs retenus peuvent être calculés et utilisés pour comparer diverses stratégies de développement urbain. Les responsables de l'étude de révision du SDAU de Neuchâteau proposent l'ensemble d'indicateurs suivants (1) :

(1)

On notera que le temps de transport des usagers, pourtant largement utilisé dans les études transport, n'a pas été retenu comme indicateur. Le calcul des temps de déplacement totaux journaliers nécessite l'utilisation de programmes très sophistiqués (charge progressive du réseau de voirie) pour un résultat très discutable. En effet, les vitesses de circulation des voitures particulières et plus encore les temps consacrés à la recherche d'une place de stationnement sont très difficiles à appréhender.

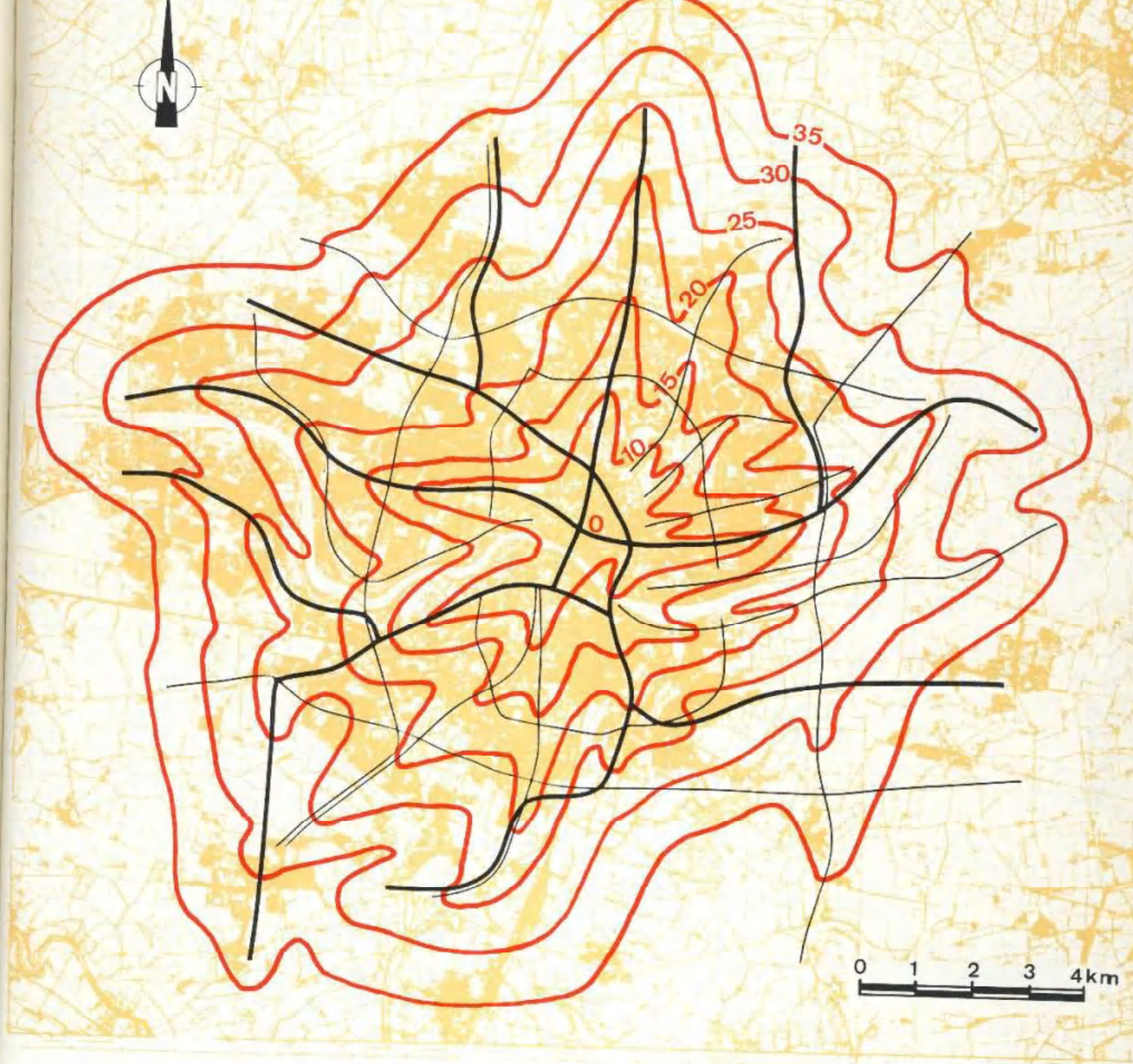
Objectifs	Indicateurs
Possibilité de croissance du centre	<p>Capacité maximale de transport (voirie et lignes de transport public) exprimée en voyageurs par heure</p> <p>Espace occupé par les infrastructures de transport (en m²)</p>
Flexibilité du système de transport	longueur des infrastructures lourdes (voirie rapide urbaine, T.C.S.P....)
Cadre de vie	<ul style="list-style-type: none"> . importance des opérations de rénovation (nombre d'expropriations) . pollution par les gaz d'échappement (nombre de véhicules x kilomètre annuels parcourus dans l'ensemble de l'agglomération et dans le centre) . bruit à proximité des principaux axes de circulation (niveau de bruit dû à la circulation en bordure des principaux axes en décibels) . effet de coupure (comparaison entre distances réelles de parcours et distances à vol d'oiseau pour des déplacements à pieds) . gêne visuelle (longueur des infrastructures en viaduc)
Niveau de service offert par les transports publics - accessibilité aux activités urbaines	<ul style="list-style-type: none"> . taux de couverture de l'agglomération pour une zone d'influence de 30 ha autour des stations : % de la population totale desservie, % des emplois desservis. . vitesse et régularité : isochrones à partir du centre et temps de trajet entre les principaux pôles d'activité. . accessibilité aux emplois, aux emplois tertiaires ouverts au public, aux équipements culturels et sociaux.

L'ensemble des études concernant le calcul et l'illustration de ces indicateurs n'est pas encore achevé.

Nous donnons cependant à titre d'exemple la fig. 33.17 illustrant l'accessibilité du centre pour l'hypothèse B (isochrones à partir du square Vercingétorix).

Dans l'état actuel des études, on peut cependant avancer que pour chacun des objectifs visés, l'hypothèse favorable aux transports publics apparaîtra comme nettement plus avantageuse.

Ce résultat ne doit pas surprendre. En effet, la structure et les caractéristiques du système de transport retenu pour l'hypothèse B résultent directement de la prise en compte de ces objectifs vitaux pour le fonctionnement de la cité et la qualité de la vie de ses habitants, alors que le système de transport de l'hypothèse A avait pour seule ambition apparente de satisfaire la demande de déplacements des véhicules individuels supposés demeurer le mode transport principal des citoyens.



- Ligne d'autobus
- Ligne en site propre
- 10- Temps en minute

SDAU 2000 - Hypothèse B
Temps d'accessibilité en transports publics
à partir du centre

Fig .33-17

ANNEXE 1 - LES CARACTERISTIQUES D'UN TRAMWAY MODERNE

A - GENERALITES

A.1. - Objet de l'annexe

Dans cette annexe sont recherchés les caractères essentiels du tramway moderne et définies les données techniques de base ainsi que la conception du matériel roulant et des équipements fixes qui lui sont associés. Il n'entre pas dans le cadre de la présente étude de préciser, par un cahier des charges ou des spécifications techniques, les caractéristiques détaillées du matériel roulant et des équipements du système. Les seules caractéristiques qui sont définies ont pour objet de préciser :

- les performances du système et la qualité du service qu'il peut rendre : vitesse, confort etc...
- les contraintes de mise en oeuvre ; dimension, poids, etc...
- les conditions de construction et d'installation et les coûts d'investissement et d'exploitation.

A.2. - Caractéristiques de base

La première caractéristique indispensable du système guidé utilisable dans les conditions définies précédemment est d'être compatible avec la circulation routière c'est-à-dire de permettre les croisements à niveau avec celle-ci. Cette exigence comporte deux conséquences : d'une part, les équipements fixes pour le guidage, la sustentation et la captation d'énergie électrique ne doivent pas constituer des obstacles physiques à la traversée des véhicules routiers ; d'autre part, la circulation des véhicules du système guidé doit laisser des intervalles de temps suffisants pour le passage du flot des véhicules croisant, même si le transport public bénéficie de priorités aux croisements.

La première conséquence impose le roulement sur rail avec rail à gorge au croisement et la ligne aérienne de captage d'énergie. La seconde conséquence conduit à concevoir des éléments à capacité unitaire relativement élevée. En effet, il y aurait peu d'intérêt à faire circuler des éléments guidés d'une capacité inférieure ou voisine de celle des plus grands véhicules routiers (autobus articulés de 120 places). Ces véhicules seraient plus coûteux à l'achat que l'autobus, les équipements supplémentaires du guidage et de l'alimentation augmentant encore l'investissement nécessaire, sans permettre un débit maximal supérieur sur l'axe utilisé.

A.3. - Standardisation

Pour un réseau de transport public urbain en site propre intégral, c'est-à-dire en majeure partie souterrain, le poste d'investissement le plus important est l'établissement de la plateforme. Mais dans le cas d'un réseau en site propre en majeure partie sur voirie, ce poste est réduit dans des proportions importantes et l'investissement en matériel roulant prend une importance relativement plus grande. La recherche de l'économie par une conception judicieuse de ce matériel devient par conséquent une préoccupation prioritaire par rapport à d'autres considérations.

Un des composants principaux du prix d'un matériel roulant nouveau, quel qu'il soit, est constitué par le coût de l'ensemble des recherches, études, construction de maquettes, essais etc... devant s'achever par la construction d'un prototype opérationnel ; c'est ce que l'on appelle le coût du développement. L'utilisation d'une technique classique et la mise en oeuvre de composants déjà utilisés en exploitation permet de réduire ce coût de développement à environ 4 à 5 fois le coût d'un élément. Mais un tel ordre de grandeur rendrait tout de même très coûteuse la construction de séries très faibles.

Bien qu'un matériel de tramway ne puisse pas atteindre des séries comparables à celles des véhicules routiers, il convient par conséquent de rechercher un système offrant une gamme assez large de possibilités, donc susceptible d'être construit en série suffisamment importante pour que le prix unitaire moyen incorpore une part aussi faible que possible de dépenses d'études, de développement et de construction de tête de série. C'est pourquoi les caractéristiques recherchées ne doivent pas être propres à une desserte donnée, voire à une ville donnée, mais à une gamme de services pouvant intéresser plusieurs villes d'importance diverse.

Il doit donc permettre d'assurer un service satisfaisant pour les trafics les plus faibles justifiant le site propre (1 500-2 000 personnes/heure) et d'écouler les trafics les plus élevés réalisables en tramway (10 000-15 000 personnes/heure) dans des conditions économiques proches de l'optimum dans toute la gamme des trafics envisageables.

B - DIFFERENCES AVEC LES AUTRES SYSTEMES

B.1. - Différences avec le métro classique

Par rapport au métro classique le système envisagé présente trois différences essentielles, mais qui sont exclusivement d'ordre technique :

- il est destiné à supporter un trafic plus faible, situé dans la gamme des 1 500 - 15 000 voyageurs par heure et par sens durant les pointes de trafic, et réalise une vitesse commerciale un peu moins élevée, au moins dans les zones en site propre partiel,
- il doit permettre le croisement de véhicules routiers à niveau ; ce n'est pas le cas du métro classique isolé sur la plateforme et qui peut par conséquent admettre des solutions variées pour le guidage (par pneumatiques) ou la captation

de courant (par rail d'alimentation latéral),

- de façon plus générale il s'insère dans le site urbain, ce qui exclut certaines dispositions : en particulier le quai haut, à peu près à 1 m au-dessus du plan de roulement, qui est une caractéristique du métro classique, serait inesthétique et peu pratique pour des stations placées dans la voirie.

B.2. - Différences avec les tramways existants - semi-métro et métros légers

De ce qui précède, on pourrait en conclure à l'identité entre le tramway moderne envisagé et les tramways traditionnels. En fait ceux-ci furent à l'origine conçus pour circuler essentiellement dans la rue mêlés à la circulation générale (cf. étymologie : Rail plat ou à ornière). Du point de vue fonctionnel, ils sont plus proches de l'autobus tel qu'il est couramment exploité que du tramway moderne tel qu'il est envisagé dans cette étude.

La plupart des réseaux de tramway qui ont été conservés ont été progressivement soustraits aux principaux aléas de circulation par la construction de tronçons modernisés sont le plus souvent désignés par l'expression "semi-métro" ou "métro léger". L'analyse de ces réseaux est une des bases de la présente étude. Néanmoins, ils sont le fruit d'une adaptation progressive, ce qui est avantageux, mais impose certaines contraintes. De plus les transformations ont été conçues depuis un certain temps dans un contexte économique favorable : elles ont surtout porté sur la mise en souterrain de tronçons urbains. Même si on constate leur efficacité, ces réseaux sont le résultat d'une évolution, d'un contexte urbanistique et d'une situation économique différents de ceux qui forment la toile de fond de la présente étude.

B.3. - Différence avec le prémétro

Le principe du prémétro, tel qu'il est conçu par exemple à BRUXELLES est une solution également différente de celle du tramway moderne. L'idée maîtresse du prémétro est l'utilisation provisoire par le tramway de souterrains construits pour y faire circuler un métro classique à échéance assez rapprochée. Il s'agit d'une opération permettant de rentabiliser des ouvrages et d'étaler quelque peu les programmes de construction. Malgré l'intérêt d'une telle solution dans les villes où elle est adoptée, elle n'apporte que peu d'enseignement dans l'exemple étudié ici car l'évolution du système vers un système en site propre intégral n'est qu'une possibilité à long terme.

D'une façon générale, les semi-métro et prémétro ont été conçus à une époque où la construction de souterrains était considérée comme la seule façon de résoudre le problème de la circulation du transport public, et ceci pour deux raisons :

- il était impensable de soustraire une partie de la voirie à la voiture particulière,
- les techniques d'exploitation de la voirie ne permettaient pas encore d'envisager des priorités systématiques au transport public.

C - PROBLEMES LIES AU ROULEMENT FERROVIAIRE

C.1. - Généralités

Le mode de roulement ferroviaire est considéré par le plus grand nombre comme un moyen désuet d'assurer le déplacement des véhicules. A l'origine de ce sentiment, plusieurs facteurs interviennent. L'antériorité du chemin de fer par rapport à l'automobile et la longévité de son matériel lui impriment l'image de marque d'un mode de locomotion caractéristique du XIXe siècle. Plus objectivement, trois défauts lui sont généralement reprochés : le bruit et les vibrations de roulement, la faible valeur de l'adhérence qui nuit aux performances et la difficulté de l'inscription du matériel en courbe.

Cependant, si l'on fait abstraction de tous les éléments subjectifs qui guident plus ou moins consciemment les préférences, il n'y a pas de raison déterminante à rejeter à priori le mode de roulement utilisant une roue d'acier sur une piste d'acier. Toute la mécanique est faite de pièces métalliques en mouvement relatif, le plus souvent par roulement sans glissement comme les engrenages, et l'automobile utilise bien, dans certaines conditions, les pneus cloutés, sur revêtement de béton ou de bitume.

La seule attitude réaliste consiste, pour le mode de roulement considéré, à faire un bilan complet des avantages et inconvénients intrinsèques et à pallier ces derniers par des moyens appropriés.

En dehors du fait que le roulement ferroviaire est compatible avec la circulation routière, il présente un certain nombre d'avantages secondaires que nous nous bornons à énumérer ci-après :

- il permet un meilleur confort que le roulement sur pneumatiques (il n'y a pas d'étage élastique non amorti),
- il est économe en énergie, du fait de la faible valeur de la résistance de roulement,
- il est peu affecté par les intempéries,
- les rails constituant conducteur de retour de courant, avec contact assuré par les roues, la ligne de captage de l'énergie électrique de traction est unifilaire,
- le shuntage des rails par les essieux constitue le moyen le plus sûr de matérialiser la présence du véhicule sur un tronçon de voie, donc d'assurer la sécurité,
- les appareils de voie sont simples et robustes et peuvent être franchis à grande vitesse ; de plus ils peuvent être enchevêtrés pour être disposés dans un espace réduit. Ces propriétés confèrent la plus grande souplesse à un système guidé par nature très rigide.

Dans quelles mesures les trois défauts précédemment cités, bruit, faible adhérence et difficulté d'inscription en courbe, peuvent être annulés ou réduits. Cela concerne à la fois le matériel roulant et la voie et constitue donc un préalable à l'étude du matériel roulant et des équipements fixes.

C.2. - Etude du bruit du roulement fer sur fer

C.2.1. - Etude qualitative

L'essieu du matériel ferroviaire est caractérisé par 2 roues solidaires calées à froid sur un axe. Le bandage de ces roues, c'est-à-dire la partie intéressée par le roulement sur rail se compose de deux parties : le boudin qui sert à guider et la table de roulement qui supporte le poids. La table de roulement est généralement inclinée au 1/40 ou au 1/20 ainsi que le rail (la norme U.I.C. fixe l'inclinaison à 1/40).

La raison de cette inclinaison est essentiellement d'ordre théorique : un essieu isolé roulant sur la voie roule à la manière d'un double cône ou dicône ; l'analyse du mouvement du dicône montre que lorsqu'il est écarté de son axe par une cause quelconque, il tend à revenir vers sa position d'équilibre. Un essieu isolé est donc guidé d'abord par sa table de roulement. Son centre décrit une sinusoïde autour de l'axe de la voie dont l'amplitude est variable mais limitée en tous cas par la présence du boudin.

Un bogie se compose de deux essieux presque rigidement liés dont les mouvements se contrarient. L'étude de la circulation de ce système conduit à un mouvement de lacet. Comme les deux roues d'un essieu sont solidaires et les essieux rigidement liés, le mouvement de lacet provoque des glissements au contact roue-rail. L'origine de ce glissement est cinématique.

L'expérience de réseaux importants utilisant des rails posés à plat avec des roues à bandages cylindriques montre que les conditions de circulation du bogie restent comparables qu'il y ait ou non inclinaison du rail et de la table de roulement ; en particulier l'amplitude des mouvements de lacet et l'importance des glissements cinématiques sont du même ordre de grandeur.

Indépendamment du glissement cinématique il se produit un glissement lié aux déformations élastiques. Le contact roue-rail s'effectue par une petite surface de forme elliptique avec par conséquent déformation élastique du bandage. Par rapport à un repère lié au point de roulement sans glissement tous les points de la surface de contact à l'exception d'un seul sont en glissement relatif. La déformation d'un pneumatique en roulement permet de se représenter ce phénomène de glissement d'origine élastique (fig. A1.1.).

Ces glissements provoquent, par des variations de contrainte interne, une mise en vibration du rail et de la roue qui produit le bruit fondamental du chemin de fer, improprement appelé bruit de roulement.

Ce bruit est émis même lorsque le bandage et les roues sont en parfait état. Le spectre reste en général situé dans les basses fréquences et les médiums (20 à 200 hertz).

Les vibrations sont aggravées par les irrégularités des surfaces en contact : rugosité, usure ondulatoire, lacune aux joints des appareils pour le rail ; méplats, faux ronds de roulement pour la roue.

Elles augmentent avec les contraintes de contact : courbes, accélérations, freinage ou irrégularité du tracé de la voie et mauvaise qualité de la pose.

La transmission de ces vibrations aux rails et à leur support d'une part, aux roues et aux caisses d'autre part, peut créer de nouvelles vibrations solides engendrant des bruits à des fréquences variables, suivant les résonnances rencontrées.

D'autres sources de bruit viennent s'associer au bruit de roulement pour donner un spectre souvent bien étalé autour de 500 hertz :

- les moteurs électriques, qui, à la différence des moteurs à explosions, ne provoquent eux-mêmes que peu de bruit,
- les engrenages des réducteurs, qui émettent des bruits à des fréquences harmoniques de celles des engrènements, souvent élevées,
- les organes annexes tels que compresseurs et freins,
- les frotteurs ou pantographes.

C.2.2. - Bruit des matériels actuels

La plupart des matériels sur fer actuellement en circulation sont de conception ancienne. Ils sont relativement bruyants et peu adaptés aux exigences grandissantes en matière de qualité de l'environnement (d'après le CSTB plus de 50 % des trains circulant sur la ligne Paris-Lyon produisent, un bruit à 10 m supérieur à 94 dBa).

Pourtant, la dernière génération de voitures construites comme celles des rames de turbotrain T.G.V., ou du matériel MS 61 du métro régional parisien, ont donné d'excellents résultats acoustiques en ce qui concerne les bruits émis à l'extérieur, alors qu'a priori les recherches dont ils sont le fruit avaient pour principal objectif le confort des voyageurs.

Ces résultats ont en effet été obtenus pour le MS 61 par l'application des principes suivants : pose en long rails soudés, bon entretien de la voie, matériel bien suspendu avec des étages élastiques successifs (silent blocs, suspension, cales élastiques, etc...) multipliant, jusqu'aux résonateurs éventuels (caisse, vitres, portes, etc...) le nombre de ruptures d'indépendance élastique.

Une rame MS 61 de 225 m de long lancée à 80 km/h sur une voie ballastée équipée de barres longues produit à 10 m en vue directe des voies un bruit de 81 dBa (fig. A1.2).

A 60 km/h, le bruit produit à 10 m est de 77 dBa. Compte tenu des lois de l'acoustique, si l'on pouvait décomposer la rame de 225 m de longueur en éléments de 50 m de longueur environ, le bruit émis serait de 75 dBa.

Or la longueur de 50 m, est, en ordre de grandeur, la longueur maximale en heure creuse d'une rame de tramway, comme on le verra ultérieurement et c'est en heure creuse de nuit que le bruit du tramway peut apparaître gênant pour les riverains.

C.2.3. - Améliorations possibles

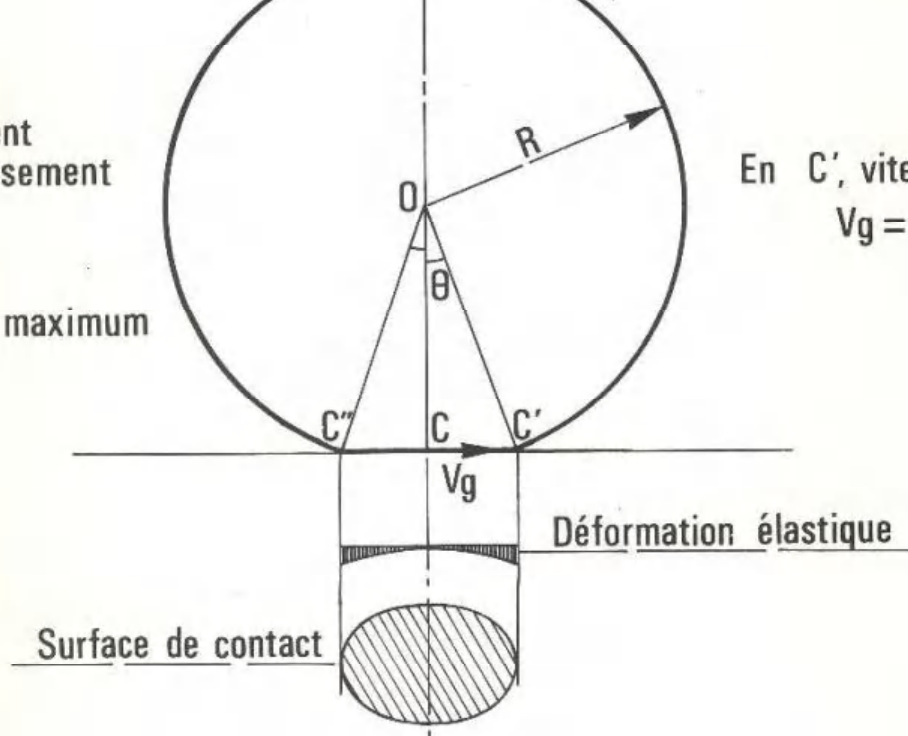
Par rapport à un matériel de la qualité du MS 61, il est vain d'espérer des améliorations importantes quant à l'émission des vibrations de roulement, hormis par la réduction des charges par essieu, qui n'a pas, semble-t-il, des effets déterminants. Par contre les émissions des autres bruits et la transmission des bruits de roulement peuvent être diminuée.

a/ *Par des dispositions relatives au matériel roulant*

- les roues élastiques suppriment la plus grande partie des vibrations transmises à la caisse,
- pour les réducteurs des moteurs, il faut éviter de créer des résonances grâce à un choix judicieux du nombre de dents d'engrenages ; de plus leur forme est

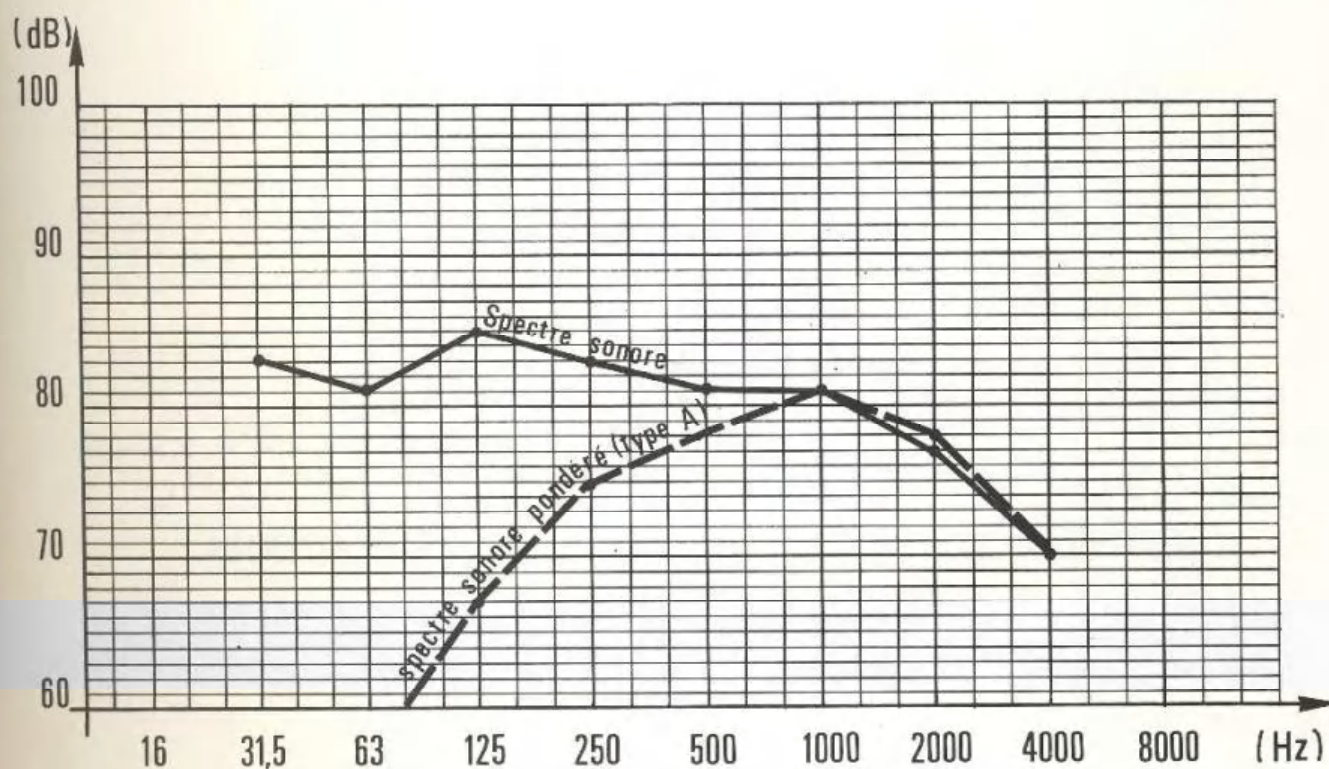
C: Point de roulement
sans glissement

C' C'':
Points de glissement maximum



GLISSEMENTS LIES AUX DEFORMATIONS ELASTIQUES

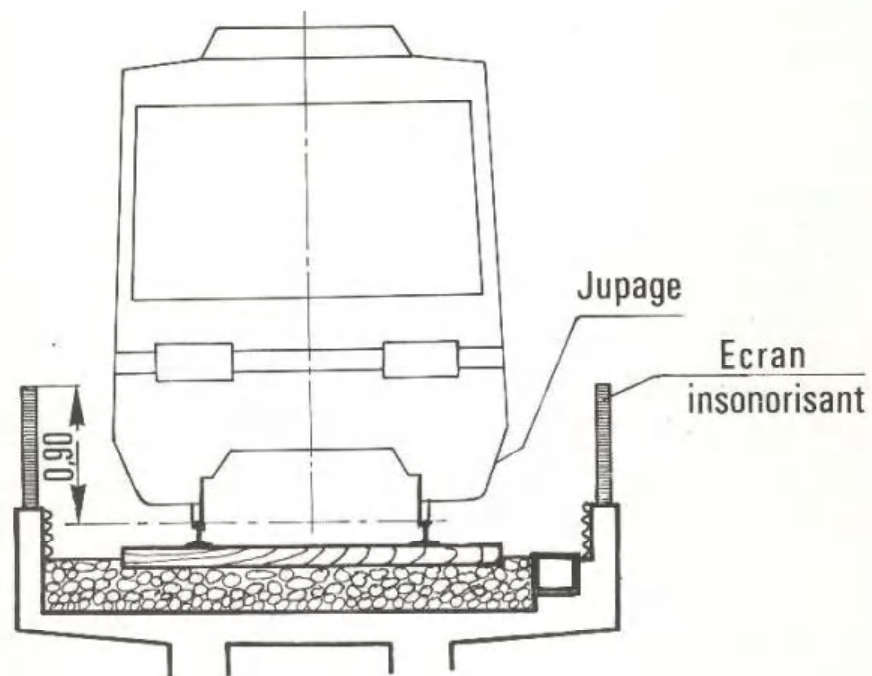
Fig. A1-1



SPECTRE DE FREQUENCE DU MATERIEL MS 61

Mesure pour une rame de 225m à 80 km/h
à 10 m en vue dégagée

Fig. A1-2



ISOLATION PHONIQUE DE LA VOIE ET DU MATERIEL

Fig. A1-3

importante : les engrenages à denture hélicoïdale sont entraînés par frottement et sont moins bruyants que ceux à denture droite dont l'engrènement est une succession de chocs ; enfin les engrenages usagés deviennent plus bruyants à cause des jeux qui se créent et il convient de les maintenir en bon état,

- les compresseurs peuvent être supprimés avec un matériel tout électrique le freinage électrique est aussi silencieux que le réducteur le permet et favorise le maintien en bon état des tables de roulements,
- les bruits de frotteurs et pantographes peuvent être diminués par l'emploi de bandes carbone insonores,
- le jupage des bogies par la caisse de voiture formant écran et le traitement acoustique du sous-caisse par un matériau résistant aux graisses et à la chaleur permet de gagner environ 3 dBA si le sol est parfaitement réfléchissant, d'avantage si le sol est suffisamment absorbant pour que l'écran ne soit pas contourné par des ondes réfléchies ; en outre, le traitement acoustique du sous-caisse est le procédé le plus efficace pour réduire les bruits intérieurs.

b/ Par des dispositions propres aux installations fixes

- d'après les mesures faites par la société des Transports Intercommunaux de Bruxelles sur une ligne de tramway, la pose de rails noyés dans l'asphalte est moins bruyante de 5 dBA que la pose de rails apparents sur le ballast et traverses ; des solutions de ce type apportent donc une diminution sensible du bruit de roulement ce qui est particulièrement intéressant en milieu urbain dense où d'autres raisons militent d'ailleurs en leur faveur,
- pour les zones en site propre intégral en aérien, la mise en place d'écrans latéraux sur la plateforme permet un gain minimal de 6 dBA en un point situé dans la zone d'ombre ; le jupage des bogies permettrait de donner à ces écrans une hauteur très réduite (fig. A1-3) et d'en améliorer l'efficacité par effet de chicane.

Toutes ces réductions ne sont pas cumulables, mais il est tout à fait raisonnable de fixer pour objectif à un tramway moderne étudié avec ce souci de réduction des bruits, de ne pas dépasser à 60 km/h un niveau sonore égal ou inférieur à 70 dBA à 7,5 m de distance (soit 68 dBA à 10 m) ; niveau qui a été défini comme le seuil de gêne admissible pour les proches riverains de l'infrastructure de transport. Ce résultat peut certainement être atteint sans qu'il en résulte une augmentation sensible du coût du matériel.

C.3. - Adhérence

Depuis l'origine du chemin de fer, on a toujours sous-estimé l'adhérence du roulement classique. Le meilleur exemple en est donné par le chemin de fer de Saint-Germain-en-Laye. Les experts avaient démontré qu'un système classique ne pouvait gravir la pente de Saint-Germain. On mit donc au point un système ne faisant pas appel à l'adhérence, le chemin de fer atmosphérique. L'entrepreneur chargé de l'installation - d'ailleurs fort complexe - ignorait le verdict des experts. Pour effectuer les transports de matériel il installa le long de la future ligne une voie ferrée et réalisa tous ses transports avec un train tracté par une locomotive à simple adhérence, sans difficulté. Apparemment personne ne fut choqué par la contradiction.

L'origine des craintes concernant l'adhérence en chemin de fer se situe dans la difficulté que l'on ressent intuitivement de prendre appui sur une surface aussi lisse qu'un rail. On pensait autrefois que l'adhérence était due principalement

aux rugosités des surfaces en contact. On sait aujourd'hui que des corps parfaitement polis présentent cependant une adhérence, provoquée par l'attraction moléculaire.

La surface de contact entre roue et rail est une ellipse et la pression, qui est maximale au centre de cette ellipse et varie avec la racine cubique de la charge appliquée, peut atteindre 9 000 bars. Cette pression dépasse donc souvent la limite élastique du métal mais elle ne produit pas de déformation permanente car le petit volume soumis à une forte contrainte est freiné par les parties qui l'entourent.

Lorsqu'on exerce un effort moteur q à la jante d'une roue chargée d'un poids p , la roue trouve sur le rail un appui, une réaction égale à q et de signe contraire q' et roule dans glissement tant que $q < \alpha p$. α est le coefficient d'adhérence ou coefficient de frottement sans glissement. Si q dépasse la valeur $p\alpha$ la roue tourne en glissant : il y a patinage (fig. A1.4).

En cas de patinage, le coefficient de frottement roue-rail, ou coefficient de frottement avec glissement, est très inférieur et le patinage amorcé continue tant que la force q n'est pas réduite à une valeur très inférieure à αp .

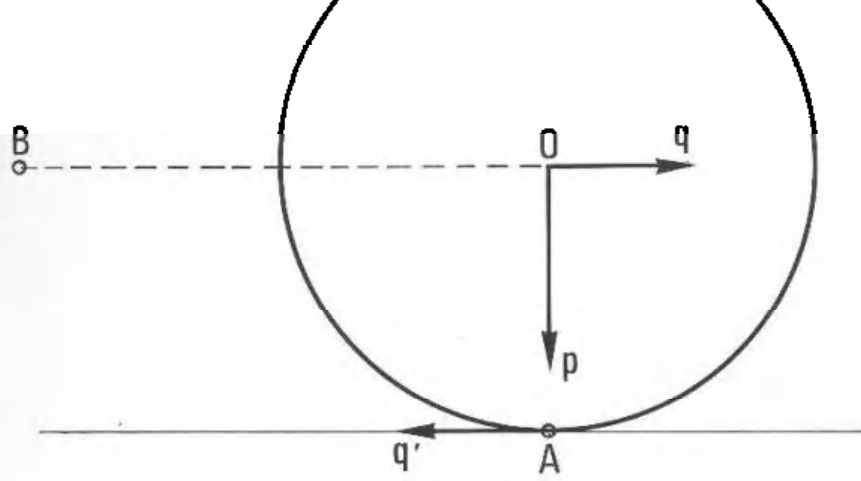
En marche, lorsque $q' < \alpha p$, il n'y a pas théoriquement de patinage. Néanmoins les surfaces de contacts subissant une légère déformation élastique sont soumises à des pressions croissantes puis décroissantes, donc à des variations de dimensions qui provoquent des glissements élémentaires. Il y a donc un léger glissement et on constate que le coefficient d'adhérence diminue avec la vitesse, en même temps qu'augmente le glissement relatif.

D'autres facteurs influent sur l'adhérence. La présence sur le rail de corps gras (huile) ou de feuilles d'arbres la diminue. L'eau également diminue l'adhérence, ou plutôt l'humidité car avec une forte pluie l'adhérence remonte à une valeur voisine de celle du rail sec. La neige et le verglas ont les mêmes effets que l'eau. Enfin la présence de sable sur le rail augmente l'adhérence.

Le coefficient d'adhérence globale d'un véhicule moteur dépend non seulement de la vitesse et de l'état du rail, mais aussi du mode d'entraînement des essieux, du type de transmission et de la suspension. Il dépend surtout de la régularité de la commande des moteurs au démarrage et de l'allure de la courbe effort moteur/vitesse. La fig. A1.5 montre, à titre indicatif, des valeurs d'adhérence obtenues à partir d'essais systématiques sur locomotive.

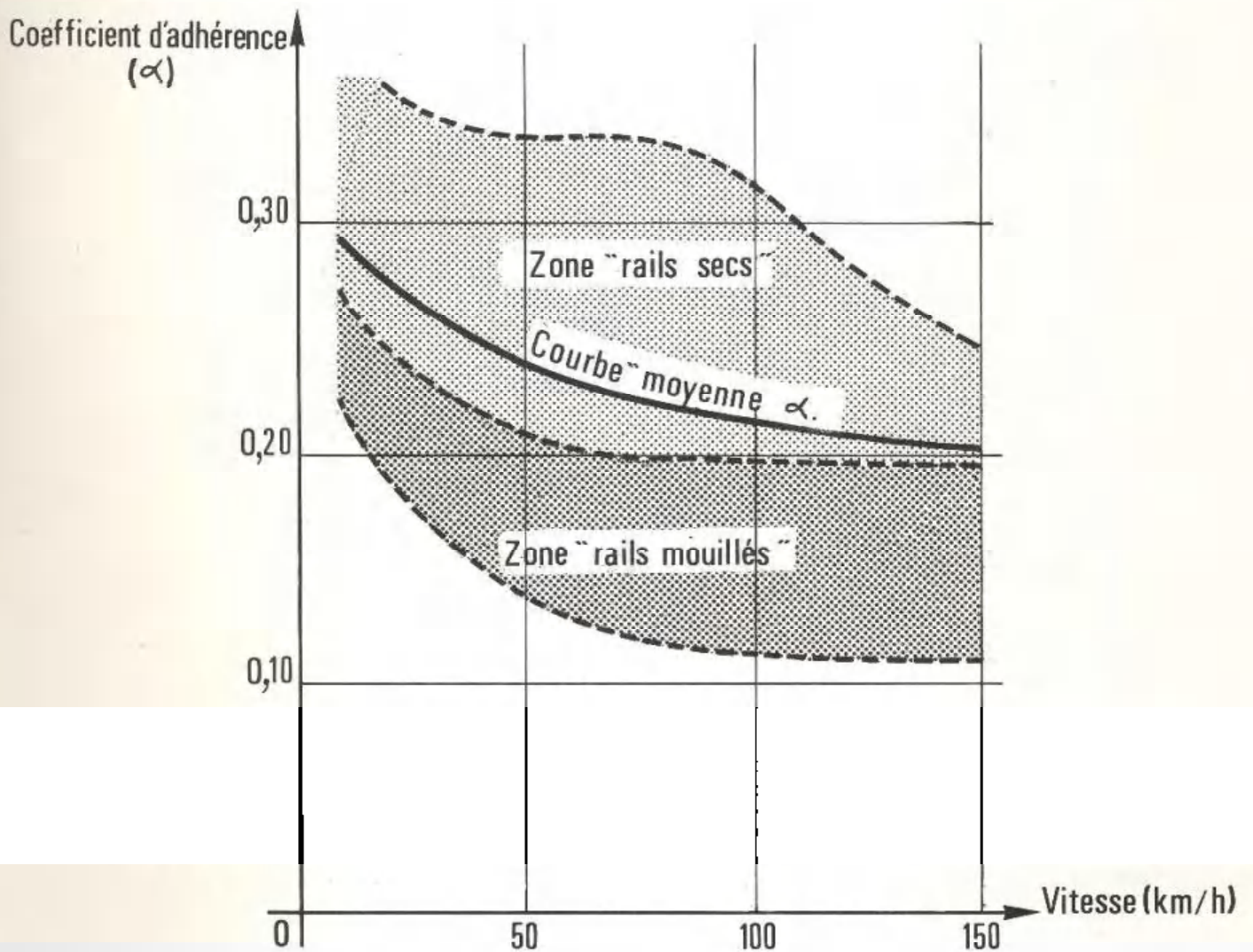
Pour un matériel de tramway moderne, des valeurs du coefficient d'adhérence de l'ordre de 0,15 à 0,20 peuvent être obtenues en toutes circonstances tant pour l'accélération que pour le freinage, en faisant appel au sablage dans les cas exceptionnels. Avec un minimum de 2/3 d'essieux moteurs, ces valeurs permettent d'atteindre les performances maximales autorisées par les normes de confort ($\gamma_{\max} = 1,3 \text{ m/s}^2$). Pour le freinage d'urgence, il est nécessaire d'avoir un dispositif indépendant de l'adhérence roue-rail (patin magnétique).

Moyennant les dispositions précédentes, un tel matériel sera à peu près insensible aux circonstances atmosphériques pour ce qui est de l'adhérence donc pour la régularité et la sécurité de l'exploitation.



ADHERENCE ROUE - RAIL

Fig. A1-4



COEFFICIENT D'ADHERENCE (essais sur locomotive électrique)

Fig. A1-5

C.4. - Inscription en courbe

L'infrastructure du tramway étant liée au réseau viaire, il doit pouvoir s'inscrire dans des courbes à faible rayon. Or le roulement de chemin de fer classique n'est pas naturellement adapté aux courbes très prononcées. En effet, les essieux d'un bogie sont parallèles entre eux et les deux roues d'un même essieu sont solidaires. Les difficultés d'inscription en courbes sont dues :

- à l'effet des forces centrifuges qui provoquent le frottement du boudin de la roue extérieure sur la face intérieure du rail,
- au roulement en oblique d'au moins un des essieux du bogie : étant parallèles entre eux ils ne peuvent être tous deux dirigés radialement par rapport à la voie dans une courbe,
- au glissement des roues qui, ayant à parcourir des distances différentes, tournent à la même vitesse ; pour les grands rayons de courbe l'inclination de la table de roulement du rail extérieure est plus près du boudin, donc sur un diamètre plus grand. Mais pour les faibles rayons, cet ajustement est insuffisant.

Les conséquences des difficultés d'inscription en courbe se manifestent de la façon suivante :

- usure de la face interne du rail extérieur et de la roue,
- possibilité de formation d'usure ondulatoire du rail,
- augmentation du bruit de roulement, et principalement sifflement aigu provoqué par le frottement de la face latérale du rail par le boudin, ou par le glissement de la table de roulement sur le rail.

Les techniques utilisables pour éviter l'apparition de ces différents phénomènes sont les suivants :

a/ Pour le matériel :

- adoption de l'empatement minimal compatible avec les vitesses pratiquées.
- équipement d'un différentiel : un tel dispositif n'a toutefois jamais été utilisé jusqu'à présent, sauf dans un réseau local japonais, et constitue une complication à n'envisager qu'avec une grande prudence.

b/ Pour la voie :

- graissage (par le matériel roulant) de la face intérieure du rail extérieur ; cette technique n'est pas utilisable dans les traversées de carrefour, en raison des répercussions possibles sur les conditions de circulation des véhicules routiers,
- utilisation de rails spéciaux dont la face intérieure est fraisée et rechargée avec un alliage spécial à faible coefficient de frottement, puis meulée pour restituer le profil initial (Brevet Thermit),
- utilisation en courbe de rail à gorge avec roue extérieure roulant sur le boudin (donc avec un diamètre très supérieur à celui du roulement de la roue intérieure).

C.5. - Conclusion

Les principales difficultés de réalisations examinées ci-dessus sont liées à des problèmes qui n'étaient pas considérés comme préoccupants il y a quelques décennies et n'avaient pas été particulièrement étudiées. Comme la durée de vie du matériel ferroviaire excède celle de tous les autres véhicules de transport, la représentation communément admise du véhicule roulant sur chemin de fer classique est liée aux défauts de fonctionnement de matériels anciens.

Les réalisations récentes, une meilleure connaissance des phénomènes et l'utilisation de matériaux et de procédés nouveaux permettent de résoudre sans dépenses excessives l'ensemble de ces problèmes. Compte tenu des contraintes propres au système étudié - et en premier lieu de la compatibilité - l'utilisation du chemin de fer classique apparaît en l'état actuel de la technique comme la solution la plus appropriée. Il n'est pas exclu qu'à l'avenir ces difficultés soient plus complètement résolues par l'apparition de matériaux nouveaux. Une grande part des difficultés liées au roulement fer sur fer sont dues au faible taux d'amortissement des vibrations de l'acier. Or il existe déjà des composés ayant des caractéristiques mécaniques au moins égales à celles de l'acier mais amortissant mieux les vibrations. Il y a certainement là un axe de recherche intéressant.

D - LARGEUR DU MATERIEL

Le premier problème qui est généralement soulevé au sujet d'un matériel roulant de système guidé est celui de son gabarit en largeur. La gamme des largeurs de voitures de métros, semi-métros, tramways et autres systèmes guidés de transport urbain existants, va de 1,90m à 3,20m sans qu'à ces différences correspondent nécessairement des particularités qui les justifient. Il n'y a même pas vraiment de convergence pour les réalisations récentes, encore que de nombreux métros, semi-métros et métros légers établis récemment sans avoir à prendre en compte des contraintes résultant de données antérieures, soient construits avec une largeur du matériel variant de 2,50m à 2,70m. Il n'y a donc pas de solution évidente à priori pour le choix de la largeur.

D.1. - Contraintes relatives à l'aménagement intérieur

- pour les raisons indiquées au § 1.3.2.5. le véhicule doit comporter une proposition relativement élevée (environ 40%) de places assises,
- en raison de réversibilité, il doit avoir des portes sur les deux faces du véhicule, ou du moins ces portes doivent pouvoir être placées sur les deux faces même si dans certains cas la réversibilité n'est pas nécessaire,
- pour permettre une bonne répartition des voyageurs, un couloir d'intercirculation longitudinal est la meilleure solution, et est également un facteur de sécurité dans le cas d'une porte coincée.

La conjugaison de ces trois exigences ne permet pas de prévoir n'importe quelle largeur de véhicule.

En effet, si l'on veut satisfaire toutes ces exigences, les sièges doivent être placés transversalement, le voyageur faisant face à l'avant ou l'arrière. Si les sièges étaient placés longitudinalement, ou bien il n'y aurait pas de couloir central (dans le cas d'un matériel étroit) ou bien la proportion de places assises serait trop faible pour un matériel large. Dans ces conditions, compte tenu de la largeur d'un siège (0,50m pour une place seule et 0,95m pour une banquette à deux places, la banquette à 3 places étant exclue pour des raisons d'accessibilité), et compte tenu de la largeur minimale du couloir d'intercirculation de 0,50m pour un matériel large, augmentée pour le matériel étroit où la répartition des places assises est moins facile, les largeurs intérieures les plus souhaitables sont :

- 2,10m : avec une banquette et un siège séparé par le couloir central de 0,65m,
- 2,40m : avec deux banquettes séparées par un couloir central de 0,50m (qui peut être plus étroit que dans le cas précédent dans la mesure où les portes peuvent être mieux disposées comme le montrent les Fig. A1.7 et A1.8.).

Entre ces deux valeurs de la largeur intérieure, ou pour une largeur supérieure à 2,40m la surface utilisable pour les places debout augmente mais le rapport places assises/places debout diminue pour un nombre donné de portes. Les deux largeurs indiquées représentent donc approximativement deux optimums entre lesquelles la comparaison peut porter. Les matériels correspondants sont désignés ci-dessous par les expressions "matériel étroit" et "matériel large".

D.2. - Coûts d'investissement

Le paramètre largeur influe uniquement sur le coût du matériel et sur celui de l'infrastructure. Le coût des équipements fixes, des stations, accès, etc... ne dépend pas de la largeur du matériel. Bien qu'il soit impossible de mesurer directement l'influence de la largeur sur le coût du matériel (pour une capacité de transport donnée), les constructeurs en ont une certaine idée. Il est généralement admis que le coût d'un matériel ferroviaire est relativement indépendant de sa largeur ; s'il en était strictement indépendant, la place offerte dans le "matériel étroit" serait plus coûteuse que dans le "matériel large" de 12,50%. Mais compte tenu de ce que certains équipements (poste de conduite, sièges, portes, sonorisation, etc...) sont identiques il est plus vraisemblable que la différence n'est que de 10% environ.

En contrepartie, l'infrastructure pour un matériel étroit est un peu plus économique :

- au niveau du sol, la différence est en valeur absolue peut importante,
- en viaduc, l'économie sur le tablier est sensiblement proportionnelle à la différence relative entre les largeurs de plateforme, soit 9% environ et négligeable sur les appuis et fondations, ce qui peut donner 5 à 7% sur le total,
- en souterrain, l'économie est au plus de cet ordre ; elle peut être inférieure et varie suivant le procédé et les conditions de construction ; par exemple dans le cas de construction d'une tranchée couverte avec établissement préalable de murs moulés, la variation du coût de l'ouvrage en fonction de la largeur est très faible .

Il peut arriver, dans certains cas, que la différence de largeur des deux plateformes ait des conséquences décisives sur l'implantation de la ligne: qu'il soit par exemple nécessaire de mettre en souterrain la plateforme dans le cas du

"matériel large" alors que dans le cas du "matériel étroit" elle pourrait s'insérer dans la voirie au niveau du sol. Cependant, la différence de largeur d'emprise n'étant que de 0,60m pour une plateforme de voie double, cette circonstance ne doit se produire que dans un nombre de cas restreint, et les conséquences sur le coût total de l'infrastructure d'un réseau sont, dans la plupart des cas, limitées.

L'influence de la largeur sur les coûts s'exerce donc en sens contraire pour le matériel roulant et pour l'infrastructure. Quelle peut être la conséquence sur le montant total de l'investissement ? Le principe de base du réseau envisagé est de disposer la plateforme le plus souvent possible au niveau du sol pour diminuer les dépenses d'infrastructure. L'application de ce principe peut donner des résultats très variables suivant les conditions particulières à chaque ville. Pour fixer les idées, on peut toutefois indiquer les limites extrêmes, en ordre de grandeur, à la fois pour le coût du matériel roulant et celui de l'infrastructure (sans la voie ni les équipements divers).

- pour le matériel roulant: 2,5 MF par Km de voie double avec une capacité maximale d'heure de pointe de 2.000 voyageurs par sens de circulation et 11 MF par Km avec une capacité maximale de 10.000 voyageurs par sens de circulation.
- pour la plateforme de voie courante: 5 MF par Km en l'absence d'ouvrage d'art et sans modification importante des aménagements de voirie et 15 MF si la proportion de tunnel (supposé en site difficile) atteint 15%. A noter que ces derniers chiffres n'incorporent que le coût de la plateforme à l'exclusion de celui de l'aménagement des stations et des accès, ainsi que des ouvrages annexes et équipements fixes.

Etant donné l'extrême variété des situations susceptibles d'être rencontrées, la seule conclusion que l'on puisse avancer est que l'influence de la largeur des véhicules sur le coût total d'investissement :

- peut être suivant les cas à l'avantage des véhicules larges ou des véhicules étroits,
- est en tout état de cause modérée, une différence de 5% en faveur de l'un ou l'autre type de matériel ayant peu de chances d'être atteinte.

La considération des dépenses d'investissement n'est donc pas un élément déterminant du choix de la largeur du matériel. Tout au plus peut-on considérer que le "matériel large" présenterait dans le contexte particulier de la France un avantage circonstanciel résultant de la situation de la branche industrielle concernée. Le matériel large dérive directement du matériel type métro que l'industrie française construit en séries importantes. Le matériel étroit dérive normalement du matériel de tramway qui n'est plus construit en France depuis longtemps. Pour ce dernier, le coût de développement serait donc plus élevé en France.

D.3. - Exploitation

Lorsqu'on considère les critères de choix autres que l'investissement, il est difficile de mettre en évidence la supériorité de l'une ou l'autre des solutions comme en témoignent les observations ci-dessous :

- en principe le matériel étroit est associé à la voie métrique et le matériel large à la voie de 1,44m mais ce n'est pas obligatoire ; un bogie pour voie de 1,44m s'inscrit dans un matériel étroit à condition que son châssis soit

entre les roues au lieu d'être à l'extérieur,

- la charge par essieux d'un matériel étroit est plus faible ce qui est en principe un avantage pour l'usure de voie mais, à capacité de transport donnée il a plus d'essieux donc l'entretien du matériel est plus coûteux,
- il est plus agréable de voyager dans un véhicule plus spacieux, dont le confort de roulement est peut être meilleur, mais la présence de sièges séparés dans un matériel étroit, plus commodes d'utilisation que des banquettes, est un avantage appréciable,
- le véhicule large est un peu mieux adapté aux trafics élevés car il a une capacité, à longueur égale, supérieure de 17% à celle du véhicule étroit et il ne peut être question d'allonger démesurément les rames circulant en voirie ; mais les limites de capacité du système se situent au-delà de la gamme de trafic que l'on rencontre dans des métropoles de 200.000 à un million d'habitants.
- la plateforme large permet une utilisation par des autobus standard dans une phase préliminaire lorsque, le système guidé ne fonctionnant pas encore, la plateforme en est déjà construite. Cependant l'emprise minimale du tramway "L" (6m hors bordurette) ne permet qu'une circulation des bus à vitesse inférieure à la normale ; d'autre part, la possibilité de passer sur une même emprise de l'exploitation par autobus à l'exploitation par tramway moderne n'est pas partout réalisable,
- les autobus peuvent aussi rouler sur la plateforme large sur des tronçons de longueur réduite, par exemple pour faciliter les correspondances en arrêtant sur le même quai autobus et véhicule guidé ; par ailleurs, l'utilisation de certains tronçons par des véhicules de secours routiers, au cas où un sinistre se produirait aux heures où la chaussée est encombrée, ne peut pas être écartée ; elle n'est possible qu'avec une plateforme large ; mais rien n'interdit d'élargir la plateforme du matériel étroit dans certaines zones pour pouvoir y faire circuler des véhicules routiers,
- bien que l'emprise nécessitée par le véhicule large soit inférieure à celle nécessaire à l'autobus de même largeur (2,50m) pour rouler à vitesse normale, du fait du guidage, il peut apparaître comme relativement plus encombrant ; le véhicule étroit dispose donc, sur le plan psychologique d'un atout non négligeable ; cependant il n'est pas certain que le citadin ait ces a priori et ne préfère pas, en tant que voyageur, un véhicule plus spacieux.

D.4. - Conclusion

Devant l'absence de raison déterminante de faire un choix, la suite de l'étude porte sur les deux types de matériel "L" (2,50m de largeur extérieure), "E" (2,20m de largeur extérieure).

E - CARACTERISTIQUES PRINCIPALES AUTRES QUE LA LARGEUR.

E.1. - Influence de la capacité d'un élément.

L'élément est l'unité autonome de matériel roulant disposant de tout l'équipement qui lui permet de circuler isolément : plusieurs éléments peuvent être accouplés pour former une rame. On dit qu'ils circulent en unités multiples. Le choix de la capacité d'un élément résulte d'un compromis entre deux exigences contradictoires. D'une part, plus la capacité de l'élément est élevée, plus l'investissement en matériel, rapporté à la place kilomètre offerte, est bas ; en effet, le coût des organes de commande et de contrôle (poste de conduite, commande des moteurs traction, téléphonie, etc...) est à peu près indépendant de la capacité de l'élément. Mais d'autre part, plus la capacité est faible, plus le système est souple puisqu'il est possible de constituer par accouplement de plusieurs éléments des rames de capacité mieux adaptée à une gamme de services variés.

Il est relativement aisé de déterminer une borne inférieure pour la capacité de l'élément : c'est la capacité de l'autobus. Supposons en effet que l'élément de tramway moderne ait une capacité égale à celle de l'autobus le plus grand, c'est-à-dire, l'articulé de 120 places environ. Sur tout axe où il devrait circuler en unité simple, la comparaison économique serait en faveur de l'autobus pour le poste investissement (matériel et équipement fixe), à peu près équilibrée pour le poste personnel de conduite et favorable au tramway moderne pour les postes énergie et entretien. Etant donné l'importance très grande de l'amortissement du matériel, l'avantage éventuel du tramway en ce qui concerne l'énergie et l'entretien ne pourrait être déterminant. Il serait donc compétitif essentiellement sur les lignes où le trafic serait suffisant pour que les éléments soient utilisés en unités multiples ; mais dans ce dernier cas, le matériel roulant serait plus coûteux que nécessaire car dans le coût de l'élément, un certain nombre de postes sont indépendants de la capacité.

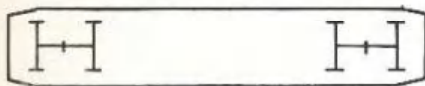
La capacité unitaire doit donc à priori être assez nettement supérieure à celle de l'autobus urbain le plus grand. En terme de surface de plancher, cela signifie que l'élément de tramway a nécessairement une surface utile supérieure à 40 m². Pour déterminer l'optimum, il faut faire intervenir d'autres facteurs.

E.2. - Constitution de l'élément et longueur des caisses.

Un élément peut être constitué d'une voiture simple sur deux bogies, de deux caisses sur trois bogies et l'élément est dit alors "double articulé", de trois sur quatre bogies et l'élément est dit "triple articulé", etc... Un élément peut aussi être constitué de plusieurs voitures simples ou articulées non découplables, sauf pour entretien (fig. A1.6).

Un facteur important de diminution des prix d'investissement par place offerte est l'augmentation de la longueur des caisses. L'insertion en courbe constitue le principal obstacle à l'augmentation de cette dimension.

En effet, la largeur d'emprise nécessaire en courbe est supérieure à la largeur en alignement droit. En première approximation, pour un véhicule rectangulaire de longueur L tournant autour d'un axe situé dans son plan de symétrie transversal et placé à une distance R de son centre, la surlargeur S est $S = L^2 / 8R$. Un autobus standard de 11 m de longueur a son axe de rotation dans le plan de son essieu arrière ; la surlargeur dont il a besoin en courbe est égale à celle d'un véhicule de 16 m tournant autour de son centre.



1. Voiture simple



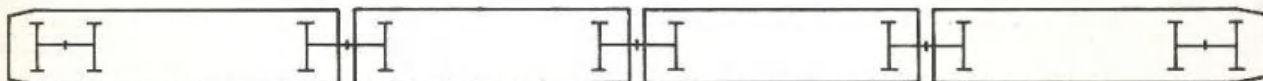
2. Voiture double articulée



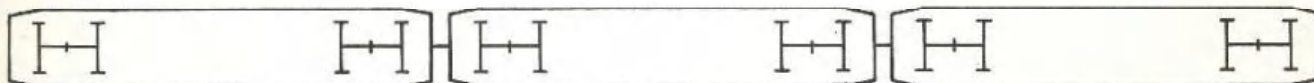
3. Voiture double



4. Voiture triple articulée



5. Voiture quadruple articulée



6. Voiture triple

COMPOSITION D'UN ELEMENT

Pour choisir la longueur des caisses de tramway, les dimensions de l'autobus, véhicule urbain de surface par excellence, dont les dimensions sont un compromis élaboré par l'usage entre capacité et insertion en voirie, doivent logiquement servir de référence. Il faut distinguer le matériel de tramway large et le matériel étroit ;

a/ *Matériel large* : la largeur du tramway "L" est la même que celle de l'autobus standard. La plateforme minimale en alignement droit est inférieure, puisqu'il s'agit d'un véhicule guidé. Il paraît normal que cet avantage soit conservé en courbe, c'est-à-dire, que la surlargeur en courbe soit la même pour les deux véhicules. Pour qu'il en soit ainsi, les longueurs de caisse doivent être approximativement les suivantes :

- voiture simple 16 m
- caisse d'extrémité d'élément articulé 13 m
- caisse intermédiaire d'élément articulé 10 m

b/ *Matériel étroit* : l'avantage du tramway "E" est un gain de largeur d'emprise ; en alignement droit, l'emprise minimale est inférieure de 10% environ à celle du tramway "L". Logiquement, il doit entraîner une diminution dans les mêmes proportions des surlargeurs en courbe. Les longueurs de caisse correspondantes sont les suivantes :

- voiture simple 15 m
- caisse d'extrémité d'élément articulé 12 m
- caisse intermédiaire d'élément articulé 9 m

E.3. - Caractéristiques des différents éléments

Les dimensions principales définies précédemment conduisent à définir les caractéristiques principales qu'il est possible d'envisager pour différents types de matériels. Elles sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

COMPOSITION DE L'ELEMENT	LONGUEUR ENTRE ATTELAGES		SURFACE UTILE M2		CAPACITE NOMINALE EN VOYAGEURS	
	L	E	L	E	L	E
Voiture simple	17,00	16,00	33,60	27,30	105	85
Double articulé	27,50	25,50	57,60	46,20	180	144
2 voitures	33,50	31,50	72,00	57,70	225	180
Triple articulé	38,00	35,00	81,60	65,10	255	203
3 voitures	50,00	47,00	110,40	88,10	345	267

Indépendamment de l'aspect capacité, toutes les compositions n'offrent pas les mêmes facilités pour la disposition des portes, la proportion des sièges, l'inter-circulation, etc... D'autre part, les capacités indiquées sont des valeurs moyennes qui peuvent varier suivant les dispositions adoptées pour l'embarquement, l'importance du pan coupé en extrémité de caisse et autres caractéristiques secondaires. Mais le choix de la capacité revient principalement à un choix de composition d'élément.

E.4. - Choix de composition d'élément

Comme il a été indiqué en E.1., la capacité de l'élément doit être nettement supérieure à celle du plus grand véhicule routier ce qui élimine la voiture simple dans les deux gabarits et rend peu intéressant l'élément double articulé dans la version étroite, puisque sa capacité n'est supérieure que de 20% à celle du plus grand véhicule routier.

A l'autre extrémité de la gamme, deux types de contraintes s'opposent à l'utilisation de rames de trop fortes capacité : celles qui résultent de la longueur de la rame et celles qui résultent du manque de souplesse d'utilisation.

La limitation de la longueur de la rame n'est pas imposée par des considérations externes au système. En particulier, l'argument de l'encombrement des carrefours ne tient pas lorsqu'on raisonne pour une capacité de transport donnée ; pour la circulation générale, il vaut mieux croiser des rames plus longues et moins fréquentes. Par contre, la surveillance des mouvements des voyageurs aux arrêts dans la rue est plutôt plus difficile que dans les stations d'un site propre intégral. Sans qu'on puisse définir une limite précise, il semble bien qu'une longueur de 70-80m constitue un maximum très rarement dépassé.

D'autre part, à partir d'un certain niveau, l'augmentation de capacité d'un élément ne se traduit plus par une diminution importante en coût d'investissement par place offerte. Elle présente en contrepartie les deux inconvénients suivants :

- moins grande souplesse d'utilisation qui se traduit par un large excédent de capacité aux heures creuses,
- nécessité d'immobiliser une plus grande proportion de la capacité de transport pour l'entretien.

Le compromis intéressant pour la gamme de trafic envisagée est l'élément de 180 places, double articulé "L" ou 2 voitures "E" (fig. A1.7 et A1.8) qui permet l'organisation d'un diagramme intérieur avec une bonne proportion de places assises et des portes bien situées. A titre de comparaison, il est également indiqué un diagramme possible pour le matériel "E" triple articulé (fig. A1.9). De plus, utilisés en unités doubles, ils constituent des rames pas trop longues. Mais pour tester l'influence du facteur "capacité de l'élément" dans l'organisation du système, une version grande capacité de 255 places correspondant soit à un élément triple articulé "L", soit à 3 voitures "E" a été examiné dans la comparaison économique.

F - DIAGRAMME ET CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DETAILLEES

F.1. - Hauteur de plancher

Pour les différents matériels de métro classique, la hauteur de plancher est déterminée par les éléments principaux suivants :

- diamètre des roues (diamètre nominal et diamètre après usure)
- diamètre des moteurs de traction
- jeux de suspensions et garde au sol
- encombrement des organes de commande et équipements divers placés sous le plancher (les organes de ventilation peuvent être placés sur le pavillon).

La hauteur du plancher varie entre 0,95m et 1,15m, sauf dans certains cas particuliers (tube de Londres, 0,75m) ce qui ne présente aucune autre sujétion, pour un métro classique entièrement en site propre, qu'une hauteur des quais tenant compte de cette cote.

Par contre, pour un site propre sur voirie, de tels ordres de grandeur sont inacceptables. Pour des raisons d'esthétique et de sécurité, les quais d'un site propre sur voirie doivent avoir une hauteur sur plan de roulement voisine de celle d'un trottoir ordinaire, soit 0,20m au maximum. L'ouvrage est intégré dans le site urbain et des quais plus hauts constitueraient des discontinuités tandis que les dénivellations entre quais et trottoirs ne seraient pas favorables à la sécurité de la circulation des piétons.

Pour faciliter la montée et la descente des voyageurs, le plancher doit être aussi bas que possible. La réalisation d'un plancher à 0,62m du sol fut une des caractéristiques les plus appréciées lors de la mise en service des autobus standard. Par contre, pour les récents semi-métros de R.F.A., des hauteurs de plancher de 92-96 cm constituent pour l'utilisation tramway une régression par rapport aux matériels plus anciens.

Trois types de solutions sont possibles, tout en restant dans la gamme des solutions classiques :

- sans recherche spéciale, il est possible de concevoir un matériel dont le plancher est à 0,80 m du plan de roulement. Le plancher est plat, les roues sont au diamètre normalisé de 650 mm, les bogies peuvent monomoteurs ou bimoteurs,
- en réalisant des décaissements à l'emplacement des bogies, il est possible d'abaisser le niveau général du plancher à 0,65 m en conservant les zones normalisées mais il faut réduire le diamètre des moteurs, ce qui nécessite l'utilisation de bogies bimoteurs et une proportions élevée d'essieux moteurs,
- si l'on accepte des roues de plus petit diamètre, il est possible d'obtenir un plancher plat à 0,65 m.

La deuxième solution n'est pas possible pour matériel étroit car le couloir d'intercirculation n'est pas dans l'axe de la voiture. La troisième solution n'est pas recommandée pour le matériel large dont la charge par essieux est relativement élevée (8,5 T en charge normale). C'est plutôt une solution de matériel étroit (type Mongy de Lille).

La réalisation de matériels surbaissés peut conduire à placer certains équipements de commande ou annexes ailleurs qu'en-dessous du plancher : sous les sièges ou (pour la ventilation par exemple) sur le pavillon.

F.2. - Répartition des portes et des sièges

L'organisation de l'élément est conditionnée par la prise en compte des contraintes suivantes :

- le véhicule peut être réversible et comporter par conséquent des portes sur les deux faces,
- les cotes d'ouverture libre des portes sont celles adoptées très généralement : 1,30 m pour deux unités de passage et 0,75 m pour une unité de passage,
- pour une capacité nominale de 150-200 voyageurs par élément et une capacité en surcharge de 200-250 voyageurs (pour 6 voyageurs debout par m²) il faut au minimum 10 unités de passage de chaque côté, soit 5 par caisse, c'est-à-dire, une unité de passage pour 15 à 20 places en charge nominale ; de plus, compte tenu de la largeur réduite du couloir central, les portes doivent être bien réparties tout le long de l'élément,
- la largeur "confortable" d'un siège est de 0,50 m, celle d'une banquette à deux places de 0,95, et la longueur nécessaire dans les deux cas est de 0,80 m, soit 1,60 m pour deux banquettes ou deux sièges vis à vis,
- le couloir entre banquettes ou entre siège et banquette doit être au minimum de 0,50 m,
- la proportion de places assises doit être voisine de 40% sur la base de 0,25 m² par place debout,
- les portes doivent être placées en dehors des zones des bogies, car il faut réserver un emplacement pour les marches ; d'autre part, une porte doit être placée près du poste de conduite pour permettre une communication entre voyageurs et conducteur, et un accès direct de celui-ci sur le quai.

Ces différentes contraintes conduisent aux diagrammes indiqués dans les fig. A1.7 A1.8 et A1.9

F.3. - Emmarchement

En ouvrage indépendant (sur un tronçon de tunnel par exemple) le quai peut être placé à la hauteur désirée. La dénivellation normale en voirie entre plancher et quai bas à 0,20 m du sol est de 0,45 m ou 0,60 m suivant que le plancher est à 0,80 m ou 0,65 m. Trois solutions sont possibles pour ces marches intermédiaires :

- marches fixes à l'extérieur de la voiture (solution courante en chemin de fer),
- marches fixes à l'intérieur de la voiture (solution type autobus),
- marches escamotables pivotant à l'ouverture de la porte et s'effaçant à la fermeture.

Les marches fixes extérieures augmentent le gabarit et constituent une excroissance dangereuse et sont à prohiber. Les marches intérieures présentent

l'avantage de la simplicité ; en contrepartie elles réduisent l'espace utilisable pour les voyageurs debout (de 2m² pour 1 marche, élément non réversible, 4m² si l'élément est réversible), ces chiffres étant presque doublés pour deux marches. Elles sont normalement associées à la porte pliante vers l'intérieur qui présente la même sujétion de réduction de l'espace intérieur.

L'adoption de marche escamotable conjuguée avec l'ouverture des portes est une solution plus complexe mais elles permettent de prévoir pour les stations en site propre intégral un quai au niveau du plancher sans vide entre quai et plancher et par conséquent des transferts de voyageurs plus aisés.

F.4. - Hauteur totale

L'encombrement du matériel en hauteur est déterminé par la somme des éléments suivants :

- la hauteur du plancher : 0,80 m et 0,65 m éventuellement pour "E",
- la hauteur libre intérieure, soit au minimum 2,10 - 2,15 m,
- l'encombrement en hauteur du pantographe abaissé, soit 0,30 m au minimum.

La hauteur totale de la caisse, pantographe abaissé est donc de 3,30 m, ce qui permet de fixer la hauteur minimale du fil de contact à 3,50 m. Le tirant d'air sous dalle ou poutre de passage supérieur doit être égal à 3,80 m.

F.5. - Silhouette enveloppe

La silhouette-enveloppe est l'enveloppe des positions limites susceptibles d'être occupées par le matériel par suite de tous les mouvements permis par les suspensions, de tous les jeux et usures normales. Elle est définie tant en alignement droit qu'en courbe ; les cotes sont données par rapport aux axes d'implantation de la voie. Compte tenu du mouvement de roulis, dont l'angle maximal à une valeur de 2°, le gabarit de construction le plus favorable correspond à une inclinaison des faces latérales égale à 2°. Dans ces conditions, les faces latérales de la silhouette-enveloppe sont parallèles. Le détail de la silhouette-enveloppe utilisable n'est pas présenté dans cette étude mais tous les ouvrages et cotes d'équipement indiqués dans cette étude prennent en compte les éléments caractéristiques de cette silhouette-enveloppe.

F.6. - Diagramme

La vérification de la compatibilité de toutes les dimensions et conditions définies ci-dessus n'est possible qu'en établissant le diagramme d'un matériel.

Il est représenté pour l'élément de 180 places environ dans les deux versions "L" et "E". Ces diagrammes ont un caractère indicatif mais ils constituent néanmoins une base possible pour l'établissement d'un Cahier des Charges ; ils définissent le compromis le plus acceptable après examen des matériels existants et observation de leurs conditions d'utilisation.

Les deux types de matériels offrent à peu près les mêmes possibilités de service. Ils permettent une comparaison d'ensemble entre solution "E" et solution "L" sans qu'intervienne le facteur "capacité de l'élément" qui est indépendant de la largeur. Mais sur le plan technique ils conduisent à des choix divergents qui ne sont pas examinés dans la présente étude, car ils n'ont pas d'importance sur ses résultats.

G - CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES

G.1. - Performances intrinsèques du matériel

G.1.1. - Vitesse maximale

Un véhicule est destiné à franchir des interstations de 350 m à 800 m, exceptionnellement plus. Bien que la vitesse maximale réalisable dans ces conditions soit rarement supérieure à 60 Km/h, il est raisonnable de fixer une vitesse maximale à 80 Km/h car elle peut être atteinte dans le cas d'une liaison suburbaine aux interstations très longues.

G.1.2. - Accélération

La valeur de l'accélération admissible pour des raisons de confort est de 1,3 m/s² au démarrage. L'accélération maximale doit pouvoir être maintenue quel que soient la charge et la tension en ligne. Il est souhaitable qu'en palier à pleine charge la vitesse de 36 Km/h soit atteinte en 10 secondes.

G.1.3. - Décélération

La décélération admissible en service normal est égale à l'accélération maximale. Il est nécessaire de prévoir deux taux supérieurs de décélération. Le freinage exceptionnel (1,6 m/s²) et le freinage d'urgence imposant une décélération de 4 m/s².

G.2. - Performances d'exploitation

- rayon minimal des courbes : il est nécessaire que le matériel puisse circuler avec les voyageurs dans les courbes de 30 m de rayon : sans voyageurs, sur les voies de service ou dans les dépôts les véhicules doivent pouvoir franchir des courbes et contre-courbes de 20 m de rayon,

- déclivités : pour des raisons de facilité de démarrage en rampe, il convient de limiter la valeur des déclivités à 50%, en admettant des points singuliers à 60% pour lesquels les démarrages seraient exceptionnels.

G.3. - Organes moteur

Pour réaliser les performances nécessaires, la puissance nominale des moteurs de traction doit être de 8 à 9 Kw par tonne (masse du véhicule en charge nominale). Pour le matériel "L", il n'est pas indispensable de réaliser un matériel à adhérence totale. Avec seulement les deux bogies d'extrémité moteur, la charge des essieux moteurs est égale à 70% de la charge totale. Par contre, pour le matériel "E" la solution à adhérence partielle n'est pas facilement adaptable.

Pour obtenir un confort à l'accélération permettant de supporter les valeurs élevées au démarrage (valeur du jerk $\leq 0,5$ m/s³) les équipements à régulation électronique moderne dits à KESAR ou à "choppers" sont souhaitables ; ils permettent, grâce à la suppression des crans rhéostatiques et les transitions série/parallèle, d'obtenir une accélération rigoureusement constante pendant tout le démarrage. Une temporisation convenable doit être réalisée pour la cessation de l'application du couple moteur. On ne renoncerait à cette temporisation que dans le cas d'un freinage d'urgence.

Avec un tel véhicule, dans des conditions moyennes de fonctionnement, la consommation spécifique d'énergie peut être voisine de 50 Wh/TK, compte tenu de l'élimination des pertes rhéostatiques et de la récupération d'énergie au freinage, mais sans consommation des auxiliaires.

H - EQUIPEMENTS FIXES

La définition du matériel roulant pose plusieurs problèmes fondamentaux qui nécessitent un examen approfondi. Par contre, les équipements fixes du tramway moderne peuvent être déterminés essentiellement à partir d'éléments strictement techniques. Il s'agit d'une extrapolation de la technique métro. Quelques points méritent d'être précisés.

H.1. - Voie

Pour les traversées de carrefours et dans certains autres cas en zone urbaine dense au niveau du sol, la voie est en rail Broca à entretoise, posée sur lit de sable par l'intermédiaire de traverses et noyée dans l'asphalte. Les rails sont soudés. Le prix de revient d'une telle voie et son coût d'entretien sont supérieurs à ceux d'une voie posée sur ballast, mais elle permet une atténuation des bruits de roulement, évite un drainage particulier et présente un aspect plus net.

Normalement en dehors des carrefours et systématiquement en zone urbaine peu dense, lorsque l'emprise de la ligne peut être élargie et qu'elle est délimitée par une haie, des plantations, etc... la voie est posée sur ballast.

En viaduc et en souterrain la voie peut être posée sur ballast ou sur béton (type de poste STEDEF, par exemple), en prenant les précautions nécessaires contre la propagation des bruits et vibrations.

H.2. - Alimentation électrique (750 volts continu)

Le fil trolley est un fil de cuivre simple de 107 mm² de section (tension de pose 1 tonne)

- en zone urbaine dense, il est posé en trolley simple avec accrochage sur les façades,
- en zone urbaine peu dense et en viaduc, il est accroché à des poteaux simples ou doubles et traité en trolley régularisé,
- en souterrain, il est fixé par l'intermédiaire d'une suspension souple dans le cas d'une faible hauteur ou en trolley régularisé dans le cas contraire.

Le principe d'alimentation du trolley est le même que pour un métro avec sectionnement. Les sous-stations sont à redresseurs secs et sont directement alimentées par le réseau.

H.3. - Signalisation et régulation

Les deux fonctions de maintien de l'espace de sécurité minimal des rames et de la régulation du trafic peuvent être traitées dans les mêmes conditions que pour un métro classique. Le degré de sophistication du système à mettre en place est du domaine de l'étude technique détaillée d'autant plus que la technologie des équipements de télécommunication et de télécommande est en progrès rapide et que la gamme des solutions est très vaste. L'équipement minimal est le suivant :

- une signalisation dans les tronçons souterrains,
- une liaison téléphonique entre chaque conducteur et le PCC,
- une commande de signalisation des feux routiers et une signalisation particulière aux carrefours.

Les problèmes posés par la réalisation de la priorité aux carrefours sont traités dans le chapitre "insertion en site urbain".

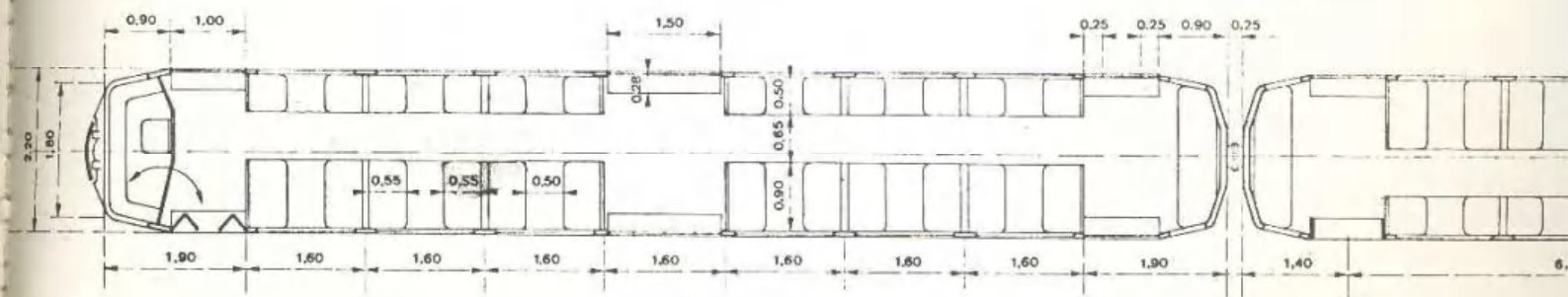
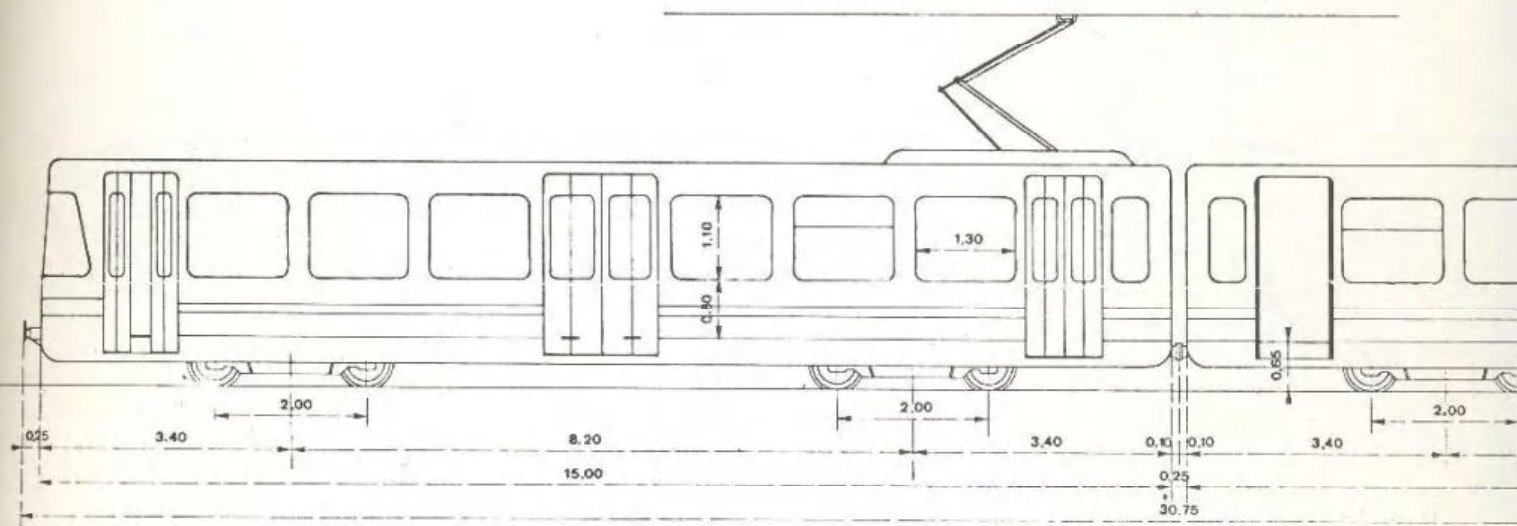
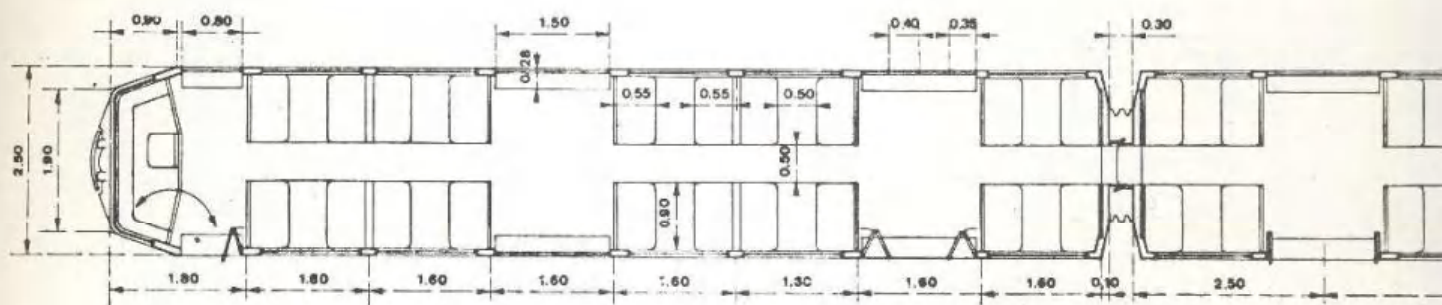
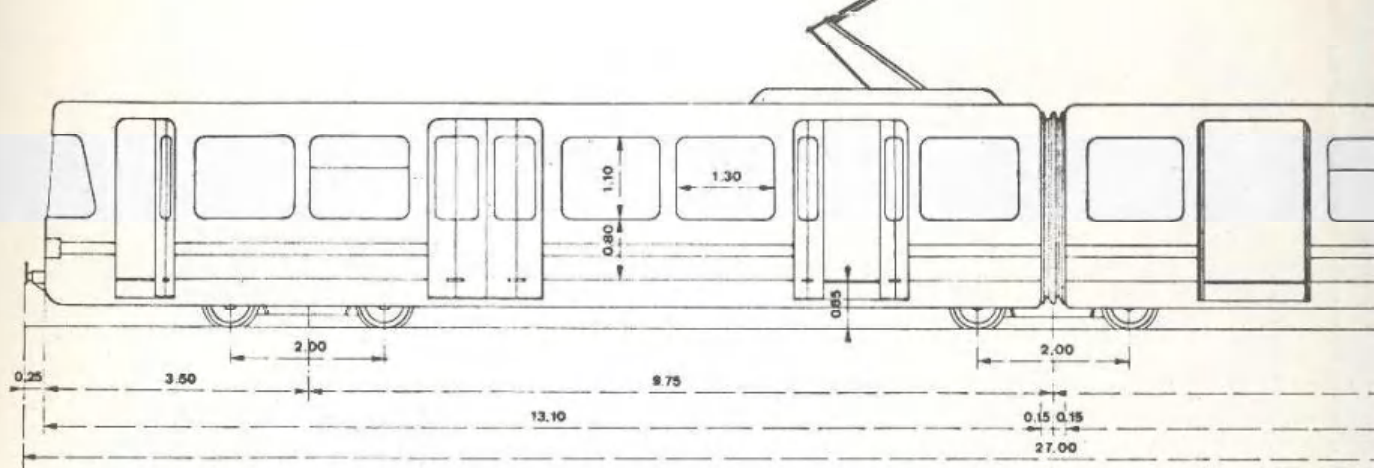
H.4. - Stations

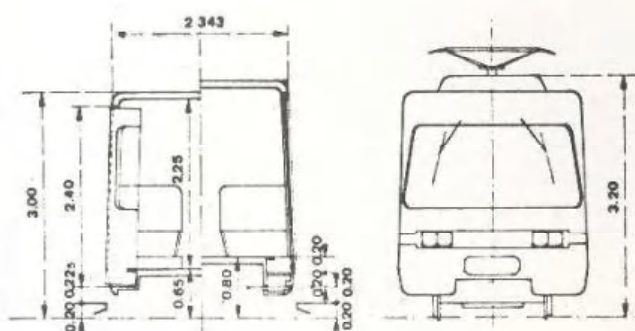
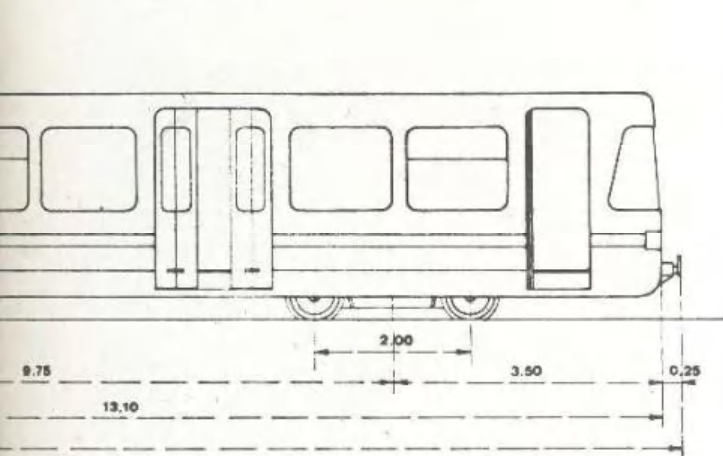
Les stations souterraines et en viaduc sont analogues - aux dimensions près - à celles d'un métro classique. Les stations au sol sont de simples quais avec abri. Si elles comprennent les installations pour l'achat et la validation en self service du titre de transport (système Zurich) celles-ci doivent être munies d'un dispositif de fermeture pour éviter les tentatives d'effraction ou de détérioration la nuit.

En périphérie, les stations de correspondance avec les autobus doivent être traitées de façon à minimiser les parcours à pied pour les changements de véhicule.

H.5. - Terminus, ateliers

Les installations de terminus sont analogues à celles d'un métro. Si tous les terminus d'un réseau peuvent être traités en terminus en boucle, le matériel roulant peut être traité en non réversible ce qui diminue son coût.





MATERIEL LARGE

Voiture double articulée

SURFACE DISPONIBLE POUR VOYAGEURS DEBOUTS

	Plateformes	Couloirs	Total
Pour 1 élément	7.75	4.00	11.75
Pour la rame	15.50	8.00	23.50m ²

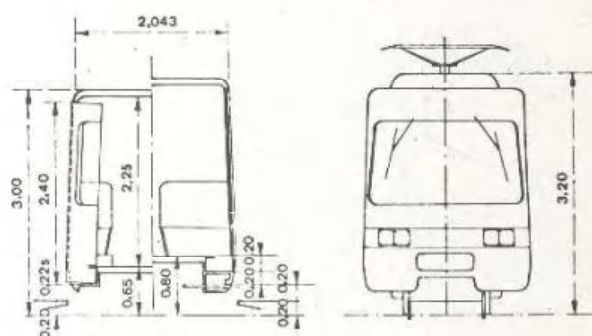
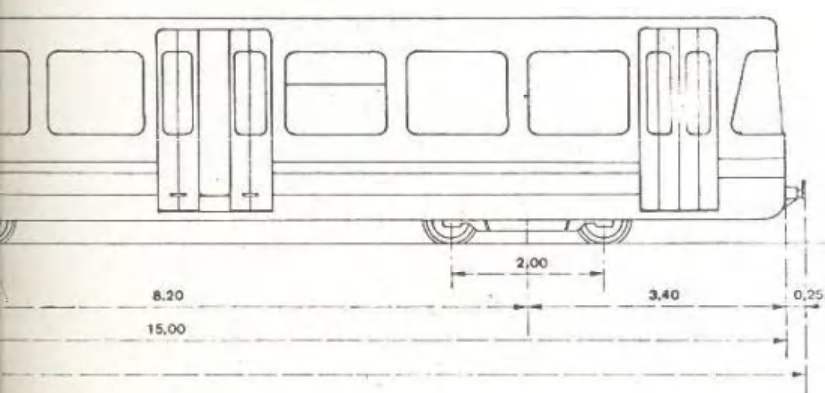
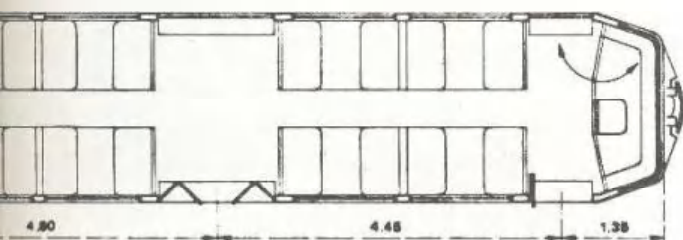
CAPACITE

	Voyageurs		
	Assis	Debout	Total
Pour 1 élément	40	48	88
Pour la rame	80	92	172

.4 voyageurs par m² sur plate-formes et couloirs

% Assis Total = 47 %

Fig. A1-7



MATERIEL ETROIT

Voiture double

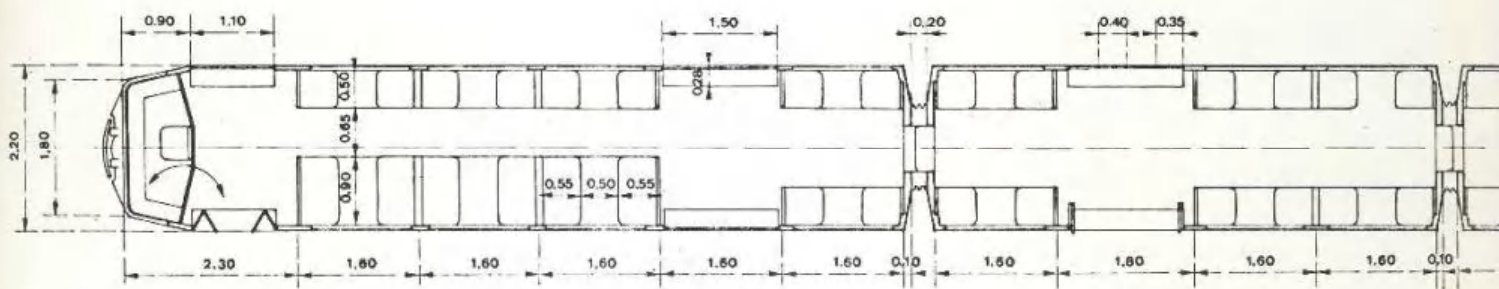
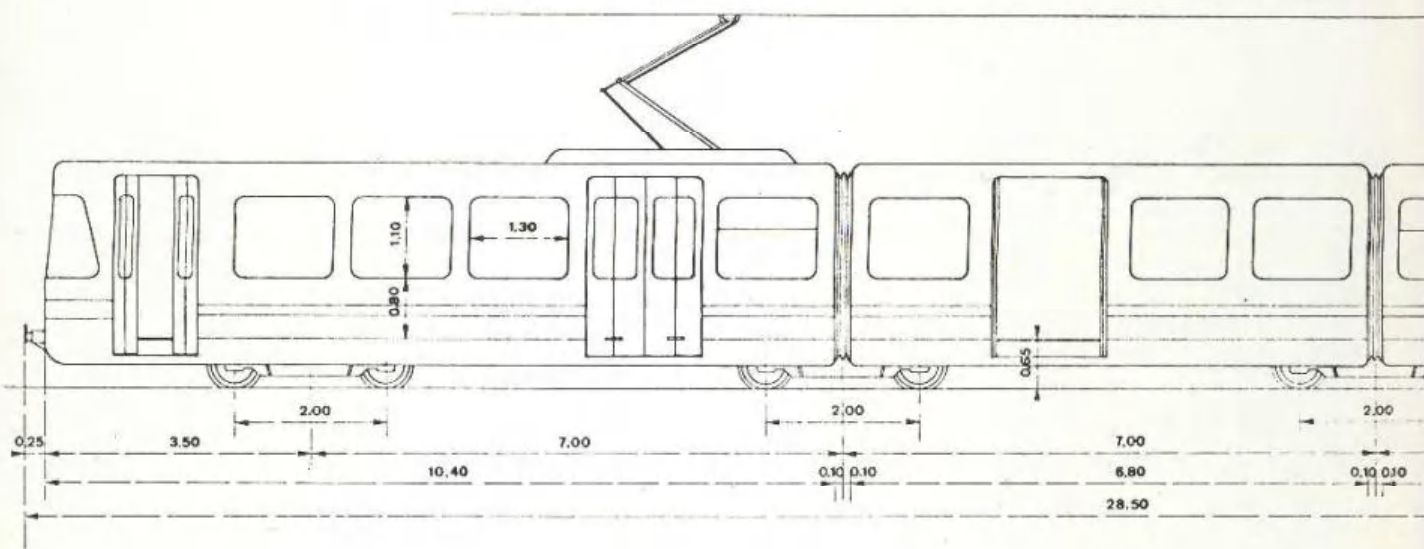
SURFACE DISPONIBLE POUR VOYAGEURS DEBOUTS

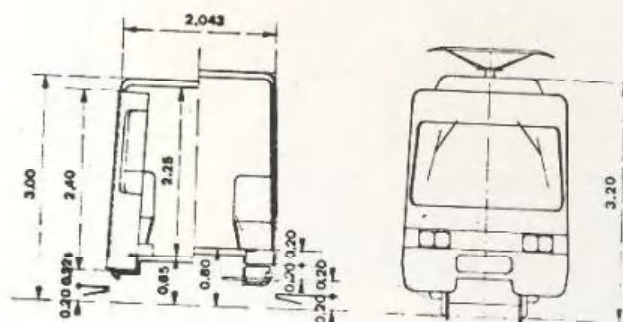
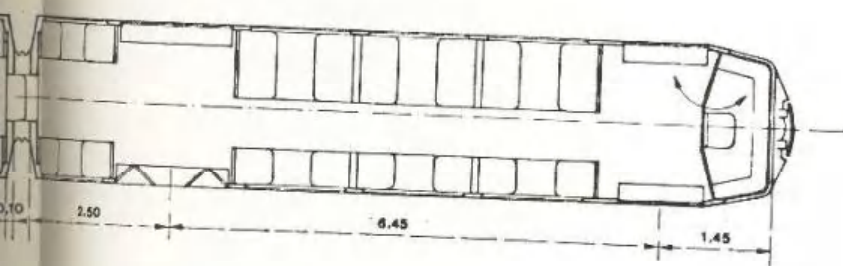
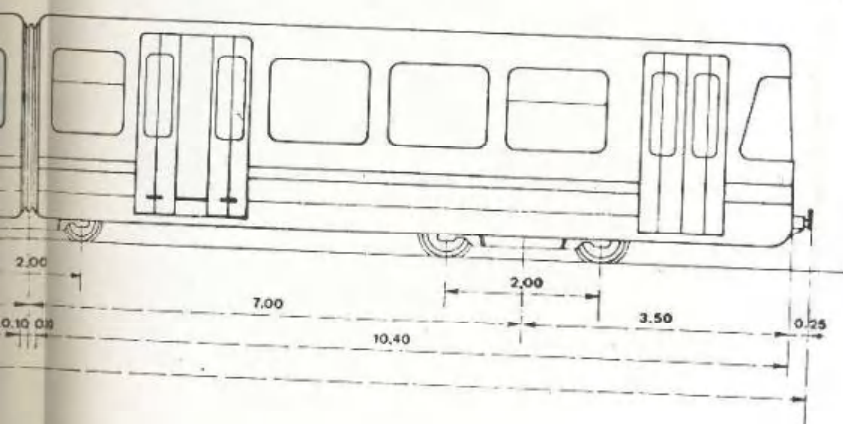
	Plateformes	Couloirs	Total
Pour 1 élément	5.90	6.24	12.14
Pour la rame	11.80	12.48	24,28m ²

CAPACITE

	Voyageurs		
	Assis	Debout	Total
Pour 1 élément	40	48	88
Pour la rame	80	96	176

.4 voyageurs par m² sur plate-formes et couloirs





MATERIEL ETROIT

Voiture triple articulée

SURFACE DISPONIBLE POUR VOYAGEURS DEBOUTS

	Plateformes	Couloirs	Total
Element extrême	4,91	4,80	9,71
Element central	2,95	5,04	7,99
Pour la rame	12,77	14,64	27,41m ²

CAPACITE

	Voyageurs		
	Assis	Debout	Total
Element extrême	22	39	61
Element central	12	31	43
Pour la rame	58	109	165

4 voyageurs par m² sur plateformes et couloirs
% Assis / Total = 34 %

Fig. A1-9

ANNEXE 2 - COMPARAISON ECONOMIQUE ENTRE MODES DE TRANSPORT COLLECTIF EN SITE PROPRE

Cette annexe fournit les éléments et les résultats d'une comparaison économique entre huit modes de transport collectif en site propre, pour quatre niveaux de trafic de pointe, sur une ligne de 15 kilomètres de longueur traversant un centre ville.

Les modes pris en compte sont les suivants :

- autobus standard à 72 places,
- trolleybus à 72 places,
- autobus articulé à 120 places,
- trolleybus articulé à 120 places,
- tramway étroit élément court à 180 places et 2 caisses sur 4 bogies (31 m x 2,2 m),
- tramway large élément court à 180 places et 2 caisses sur 3 bogies (27 m x 2,5 m),
- tramway étroit élément long à 255 places et 3 caisses sur 6 bogies (46 m x 2,2 m),
- tramway large élément long à 255 places et 3 caisses sur 4 bogies (37 m x 2,5 m).

Les trafics de pointe envisagés sont successivement :

- 1.500 voyageurs/heure,
- 3 000 voyageurs/heure,
- 6 000 voyageurs/heure,
- 12 000 voyageurs/heure.

Quel que soit le niveau du trafic considéré, les aménagements de la voirie sont supposés inchangés pour un mode donné. Les effets d'une croissance de la congestion de la circulation avec la taille de la ville se font sentir sur la vitesse commerciale des véhicules de transport collectif.

De plus, pour un nombre de passages aux arrêts inférieur à 15 en une heure, et par souci d'offrir à la clientèle des transports collectifs un niveau de service très satisfaisant, il a été supposé que les heures de passage aux arrêts présenteraient un caractère cyclique (cycle d'une heure) et que les intervalles, en règle générale, correspondraient à des fractions entières de l'heure : 4 mn, 6 mn, 7,5 mn (2 passages en 15 mn) et 10 mn, cette dernière valeur représentant l'intervalle maximal retenu.

Enfin, les prix de base et les montants des dépenses annuelles ont été évalués aux conditions économiques du 1er Janvier 1975.

La comparaison se décompose en quatre chapitres :

- A - Demande et offre de transport,
- B - Dépenses d'investissements,
- C - Dépenses d'exploitation
- D - Comparaison entre les modes.

La majeure partie des données de base de la comparaison a pour origine les sources suivantes :

- Comptabilité analytique de la R.A.T.P.,
- Résultats d'exploitation de la compagnie de transports publics de Saint-Etienne (tramways et trolleybus en particulier), Lyon et Marseille,
- Etude de transport en commun en site propre à aménagement progressif Lyon-Vénissieux - Société TCL 1973.

A - DEMANDE ET OFFRE DE TRANSPORT

A.1. - Demande de transport

La répartition de la demande de transport au cours de la journée se fait en pourcentage, quel que soit le trafic de pointe, de la façon suivante :

Tranche horaire	Pourcentage du trafic
4 - 5	0,2
5 - 6	2,5
6 - 7	7,4
7 - 8	12,3
8 - 9	6,0
9 - 10	4,1
10 - 11	3,3
11 - 12	4,1
12 - 13	5,1
13 - 14	6,3
14 - 15	5,5
15 - 16	5,8
16 - 17	9,7
17 - 18	10,0
18 - 19	7,3
19 - 20	3,9
20 - 21	2,1
21 - 22	1,6
22 - 23	1,4
23 - 24	0,8
24 - 1	0,6
De 4 h à 1 h	100

Cette répartition a été choisie comme représentative de celle observée en France dans les villes importantes.

L'heure de pointe est 7 h - 8 h, avec 12,3 % du trafic journalier.

Le trafic annuel de la ligne est estimé à 3 x 315 fois le trafic journalier sur le tronçon plus chargé.

En effet, pour une ligne traversant un centre ville et avec des prolongements en périphérie et donc au trafic équilibré, le trafic total de la ligne est environ trois fois supérieur à celui du tronçon le plus chargé dans le sens le plus chargé.

Trafic de pointe	Trafic journalier sur le tronçon le plus chargé	Trafic annuel de la ligne (en millions de voyageurs)
1 500 voyageurs/heure	12 200	11,52
3 000 voyageurs/heure	24 400	23,05
6 000 voyageurs/heure	48 800	46,10
12 000 voyageurs/heure	97 600	92,20

Le parcours moyen d'un usager est supposé égal à 5 km, dans toutes les hypothèses.

A.2. - Offre de transport

A.2.1. - Hypothèse de vitesse commerciale

La longueur de la ligne est prise égale à 15 km. L'interstation moyenne est de 600 m (26 stations). *Sur la majeure partie de sa longueur, y compris dans l'hyper-centre, la ligne est au niveau du sol.* Cependant, lors du franchissement d'obstacles naturels (rivière) ou artificiels (autoroutes, voies de chemin de fer), elle est en viaduc, en périphérie, ou en souterrain, en bordure de la zone centrale.

La vitesse commerciale des véhicules de transport en commun est supposée décroître entre la vitesse maximale avec commande de feux, supposée égale à 25 km/h et calculée pour des débits inférieurs à 25 véhicules par heure et par sens, et les vitesses obtenues sur voirie saturée, avec une vitesse de 10 km/h pour des débits de 200 véhicules par heure et par sens.

La vitesse commerciale maximale est déterminée en fonction des caractéristiques cinématiques de la marche du véhicule et de sa puissance (respect de normes d'accélération et de freinage -cf. annexe n° 1 pour le tramway- longueur des interstations, temps d'arrêt en station). Elle suppose une priorité optimale aux carrefours, distants les uns des autres de 400 m en moyenne sur la ligne (300 m en zone centrale et 5 à 800 m en périphéries).

La vitesse minimale est celle obtenue pour les autobus dans les couloirs réservés saturés, les véhicules se gênant aux arrêts malgré la possibilité d'y accueillir deux voitures simultanément (aménagement indispensable, d'après les résultats d'études de simulation effectuées à la R.A.T.P., au-delà de 80 véhicules par heure et par sens pour 600 m d'interstation et 20 secondes de temps d'arrêt moyen en station).

Entre ces extrêmes, la variation de la vitesse a été supposée linéaire.

Rappelons qu'à Paris, pour des débits de 65 à 90 bus à l'heure par sens, avec des interstations plus courtes, de l'ordre de 400 m, et un maillage des carrefours variable selon les itinéraires, les vitesses observées ont été par exemple de 15,2 km/h sur le boulevard Saint-Germain, 12,5 km/h sur le boulevard Saint Michel, et 20 km/h sur le quai Kennedy.

Les hypothèses faites sont, par manque de résultats expérimentaux, identiques pour chacun des modes de transport, mais la différence de capacité des matériels pourrait induire des variations dans les temps d'arrêt aux stations, suivant les véhicules, en fonction du nombre de portes et des facilités de circulation accordées aux usagers, sachant que l'oblitération des titres de transport est réalisée au sol par l'usager avant l'embarquement. De plus, le système de guidage sur rails des tramways leur assure un avantage indéniable sur les systèmes sur routes lorsqu'ils se croisent, ainsi que par temps de neige, verglas, pluie et brouillard.

Cependant, dans la suite de la comparaison, les avantages du tramway sur les autres modes n'ont pas été retenus, quelle que soit leur importance, lorsqu'il n'était pas possible de les quantifier avec précision.

A.2.2. - Hypothèse d'exploitation

A.2.2.1. - La durée de l'exploitation est de 21 heures. Quatre périodes ont été distinguées :

Période A (de pointe) : 6 h - 8 h et 16 h - 19 h. Durée 5 heures

Période B : 8 h - 9 h et 12 h - 16 h. Durée 5 heures

Période C : 5 h - 6 h 9 h - 12 h et 19 h - 21 h. Durée 6 heures

Période D : 4 h - 5 h et 21 h - 1 h. Durée 5 heures.

D'après le tableau de répartition de la demande de transport (paragraphe A-1), si le trafic à l'heure la plus chargée est égal à 1 000 voyageurs/heure pour la période A (7 h - 8 h), il sera égal à :

- 512 voyageurs/heure pour la période B (13 h - 14 h), soit $1\ 000 \times (6,3/12,3)$
- 333 voyageurs/heure pour la période C (9 h - 10 h), soit $1\ 000 \times (4,1/12,3)$
- 130 voyageurs/heure pour la période D (21 h - 22 h), soit $1\ 000 \times (1,6/12,3)$

A.2.2.2. - A l'heure la plus chargée de chacune de ces périodes, le taux d'occupation a été pris égal à 80 %, et l'offre de transport correspondante est supposée maintenue pendant toute la période.

Lorsque le nombre de passages à l'heure, dans une période, est inférieur à quinze, l'offre de transport est calculée de façon à ce que ce nombre corresponde à un intervalle entre deux véhicules successifs de 4 mn, 6 mn, 7,5 mn ou 10 mn.

L'intervalle maximal entre deux passages est de 10 minutes. Cette hypothèse, qui assure un niveau de service de haute qualité, est à l'avantage pour les faibles trafics des véhicules à faible capacité, et en particulier de l'autobus.

A.2.2.3. - Pour les trafics importants, on notera la possibilité d'accoupler deux éléments de tramways aux périodes les plus chargées, ce qui permet de choisir les modes d'exploitation.

A.2.2.4. - Les temps de battements aux terminus sont égaux à 8 % de la durée du tour, augmentés de 2 minutes, pour tous les modes de transport.

Quant au parc de véhicules, il tient compte d'une réserve d'atelier égale pour le tramway à 10 % et pour les autres modes à 13 % du nombre de véhicules en pointe.

Les données annuelles sont les données journalières multipliées par 315.

A.3 - Données de trafic

Le tableau n° A2-1 donne, pour chaque mode, chaque niveau de trafic et chaque période le nombre horaire de passages à chaque arrêt. Le chiffre entre parenthèses indique la valeur théorique à l'heure la plus chargée pour un taux d'occupation de 80 %.

Les tableaux n° A2-2, A2-3 et A2-4 donnent, le premier, la vitesse commerciale à l'heure la plus chargée de chaque période, le second, le nombre de véhicules en service par période, pour les modes d'exploitation retenus, et le dernier récapitule les données de trafic.

B - DEPENSES D'INVESTISSEMENTS

Les prix de base sont donnés frais généraux et à valoir d'imprévus inclus et taxes exclues, aux conditions économiques du 1er Janvier 1975.

*à multiplier par 1.58 pour 1-1-79
+12% / en*

B.1. - Génie Civil

Les calculs ont été menés afin de déterminer des ordres de grandeur de ce que peuvent être les dépenses minimales et les dépenses maximales de génie civil au kilomètre de ligne, et pour évaluer le coût au kilomètre de la ligne dans l'hypothèse moyenne où celle-ci serait construite à Neuchâteau, cette dernière valeur étant retenue dans la suite de la comparaison. Rappelons que la ligne a une longueur de 15 kilomètres et que les arrêts ou les stations sont disposées tous les 600 mètres en moyenne.

Au niveau du sol, il recouvrent le dégagement de la surface et les travaux annexes, c'est-à-dire la modification du profil en travers, le terrassement, le déplacement de chaussées, les frais de détournement et de rétablissement de la circulation.

En souterrain et en viaduc, ils chiffrent le gros oeuvre (pour le souterrain, par exemple, sont inclus les fouilles, terrassements, blindages, platelages de service, dispositifs de protection, transports de déblais, remblaiements et réfection de chaussée, maçonnerie et aciers, travaux de finition et d'étanchéité, traitement des terrains, frais de déviation et de rétablissement de la circulation, etc.).

TABLEAU N° A2-1 - NOMBRE DE PASSAGES A L'HEURE PAR PERIODE

Trafic de pointe	Période	Autobus 72 x 0,8 = 58 places	Autobus articulé 120 x 0,8 = 96 places	Trolleybus 72 x 0,8 = 58 places	Trolleybus articulé 120 x 0,8 = 96 places	Tramway élément court (étroit ou large)		Tramway élément long (étroit ou large)
						1 élément 180 x 0,8 = 144 places	2 éléments 288 places	
1 500 voyageurs/h	A (100%)	25,9	15,6	25,9	15,6	10 (10,4)	-	8 (7,4)
	B (51,27)	15 (13,3)	8	15 (13,3)	8	6 (5,3)	-	6 (3,0)
	C (33,37)	8 (8,6)	6 (5,2)	8 (8,6)	6 (5,2)	6 (-)	-	6 (-)
	D (13%)	6 (3,4)	6 (-)	6 (3,4)	6 (-)	6 (-)	-	6 (-)
3 000 voyageurs/h	A	51,7	31,3	51,7	31,3	20,8	10,4	15 (14,7)
	B	26,5	16,0	26,5	16,0	10 (10,7)	6 (5,3)	6 (6,0)
	C	17,2	10 (10,4)	17,2	10 (10,42)	8 (6,9)	6 (3,5)	6 (4,9)
	D	6 (6,7)	6 (4,1)	6 (6,7)	6 (4,1)	6 (2,7)	6 (1,4)	6 (1,9)
6 000 voyageurs/h	A	103,5	62,5	103,5	62,5	41,7	20,8	29,4
	B	53,0	32,0	53,0	32,0	21,3	10 (10,7)	15 (15,1)
	C	34,5	20,8	34,5	20,8	15 (13,9)	8 (6,9)	10 (9,8)
	D	15 (13,5)	8 (8,1)	15 (13,5)	8 (8,1)	6 (5,4)	6 (2,7)	6 (3,8)
12 000 voyageurs/h	A	206,9	125,0	206,9	125,0	83,3	41,7	58,8
	B	106,0	64,0	106,0	64,0	42,7	21,3	30,1
	C	69,0	41,7	69,0	41,7	27,8	15 (13,9)	19,6
	D	26,9	15 (16,3)	26,9	15 (16,26)	10 (10,8)	6 (5,4)	8 (7,7)

TABLEAU N° A2-2 - VITESSE COMMERCIALE PAR PERIODE A L'HEURE LA PLUS CHARGÉE (en km/h)

Trafic de pointe	Période	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court (étroit ou large)		Tramway élément (étroit ou la	
						1 élément	2 éléments	1 élément	2 éléments
1 500 voyageurs/h	A	24,9	25	24,9	25	25	-	25	-
	B	25	25	25	25	25	-	25	-
	C	25	25	25	25	25	-	25	-
	D	25	25	25	25	25	-	25	-
3 000 voyageurs/h	A	22,7	24,7	22,7	24,7	25	-	25	-
	B	24,9	25	24,9	25	25	-	25	-
	C	25	25	25	25	25	-	25	-
	D	25	25	25	25	25	-	25	-
6 000 voyageurs/h	A	18,3	21,8	18,3	21,8	-	25	-	-
	B	22,6	24,4	22,6	24,4	25	-	25	-
	C	24,2	25	24,2	25	25	-	25	-
	D	25	25	25	25	25	-	25	-
12 000 voyageurs/h	A	9,5	16,5	9,5	16,5	-	23,6	-	-
	B	21,3	23,6	21,3	23,6	-	25	-	-
	C	21,3	23,6	21,3	23,6	-	25	-	-
	D	24,9	25	24,9	25	25	-	25	-

TABLEAU N° A2-3 - NOMBRE DE VEHICULES EN SERVICE PAR PERIODE

Trafic de pointe	Période	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court (étroit ou large)		Tramway élément 1 (étroit ou large)	
						1 élément	2 éléments	1 élément	2 éléments
1 500 voyageurs/h	A	35	21	32	21	14	-	11	-
	B	20	11	19	11	8	-	8	-
	C	11	8	10	8	8	-	8	-
	D	8	8	8	8	8	-	8	-
3 000 voyageurs/h	A	76	43	70	43	28	-	20	-
	B	35	21	33	21	14	-	8	-
	C	23	14	21	14	11	-	8	-
	D	8	8	8	8	8	-	8	-
6 000 voyageurs/h	A	187	95	176	95	-	28 x 2	-	20
	B	78	44	72	44	28	-	20	-
	C	47	28	44	28	20	-	14	-
	D	20	11	19	11	8	-	8	-
12 000 voyageurs/h	A	713	250	720	250	-	59 x 2	-	40
	B	193	98	182	98	-	28 x 2	-	20
	C	107	59	101	59	-	20 x 2	-	14
	D	36	20	33	20	14	-	11	-

TABLEAU N° A2-4 - RECAPITULATIF DES DONNEES DE TRAFIC

	Trafic	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court (étroit ou large)	Tramway élément long (étroit ou large)
Nombre de véhicules-Km annuels (ou éléments kilomètres - en millions)	1 500 v/h	2,67	1,76	2,67	1,76	1,41	1,30
	3 000 v/h	4,96	3,12	4,96	3,12	2,25	1,62
	6 000 v/h	10,06	6,07	10,06	6,07	4,12	3,01
	12 000 v/h	19,95	12,02	19,95	12,02	8,16	5,81
Nombre de véhicules au parc	1 500 v/h	40	24	40	24	15	12
	3 000 v/h	86	49	86	49	31	22
	6 000 v/h	211	107	211	107	62	44
	12 000 v/h	806	283	806	283	130	88
Nombre d'heures de conduite (en milliers)	1 500 v/h	120,0	78,1	120,0	78,1	62,4	57,6
	3 000 v/h	230,9	139,9	230,9	139,9	99,5	71,8
	6 000 v/h	537,7	289,2	537,7	289,2	138,6	102,1
	12 000 v/h	1 685,9	691,1	1 685,9	691,1	196,9	138,3
Kilométrage annuel par véhicule au parc	1 500 v/h	67 000	73 500	67 000	73 500	93 800	108 400
	3 000 v/h	58 000	63 800	58 000	63 800	72 500	73 700
	6 000 v/h	48 000	56 700	48 000	56 700	66 500	68 500
	12 000 v/h	25 000	42 500	25 000	42 500	62 800	66 000
Rapport du nombre de v x k* journalier au nombre de v x k en pointe	1 500 v/h	11,1	11,8	11,1	11,8	14,2	16,6
	3 000 v/h	10,1	10,4	10,1	10,4	11,3	11,4
	6 000 v/h	10,3	10,3	10,3	10,3	10,4	10,6
	12 000 v/h	10,2	10,2	10,2	10,2	10,3	10,4
Taux d'occupation moyen sur le tronçon le plus chargé	1 500 v/h	0,60	0,54	0,60	0,54	0,45	0,35
	3 000 v/h	0,65	0,61	0,65	0,61	0,57	0,56
	6 000 v/h	0,64	0,63	0,64	0,63	0,62	0,60
	12 000 v/h	0,64	0,64	0,64	0,64	0,63	0,62

* v x k : véhicules-kilomètres.

Ces prix de base sont calculés pour le tramway étroit (2,20 m de large), ce qui correspond à une plateforme de 5,40 m de large : pour les autres modes, les coûts croissent moitié moins vite que la largeur de la plateforme, qui est de 6 mètres pour le tramway large (2,50 m de large) et de 7 mètres pour les autobus et trolleybus (2,50 m de large).

Ces prix sont les suivants, par kilomètre de ligne, en millions de francs :

Prix des infrastructures au kilomètre, (en millions de francs)			
Type d'infrastructure	Tramway étroit	Tramway large	Autobus et trolleybus
Plateforme au niveau du sol	5	5,28	5,74
Souterrain	80	84,44	91,85
Viaduc	15	15,83	17,22

A Neuchâteau, la longueur totale de souterrain pour une ligne diamétrale de 15 km d'orientation est-ouest serait de 500 m (souterrains en bordure du centre sous voirie autoroutière), celle des viaducs de 800 m (viaducs construits au-dessus d'autoroutes ou d'une voie de chemin de fer en périphérie) et 13,7 km seraient construits au niveau du sol.

Le prix maximal est supposé égal à 15 millions de francs par kilomètre de ligne pour le tramway étroit (prix moyen du viaduc), ce qui pour l'ensemble de la ligne représente par exemple 2 km de souterrain et 13 km au niveau du sol ou 7,5 km de viaduc, 1 km de souterrain et 6,5 km au niveau du sol ou encore 15 km au niveau du sol et la création d'une trentaine de minisouterrains pour les flux transversaux de véhicules particuliers : de tels investissements permettent de supprimer complètement l'effet de "coupure transversale" dû au site propre, bien que cette suppression totale ne soit jamais nécessaire.

Le prix minimal de 5 millions de francs par kilomètre de ligne pour le tramway étroit peut paraître élevé pour l'autobus comme pour le tramway, mais la présente comparaison exclut les solutions intermédiaires entre la simple bande réservée et l'emprise continûment protégée : ce problème est abordé à l'annexe 3.

Prix au kilomètre de ligne du génie civil pour une ligne de 15 km			
	Tramway étroit	Tramway large	Autobus et trolleybus
Prix minimal	5	5,28	5,74
Prix à Neuchâteau	8,03	8,48	9,22
Prix maximal	15,00	15,83	17,22

La durée de vie des ouvrages de génie civil prise en compte dans le calcul des annuités d'amortissement est de 30 ans.

B.2.1. - Prix de base

Les estimations des équipements dépendent essentiellement des choix du maître d'ouvrage, et peu, contrairement aux travaux d'infrastructure, de circonstances extérieures. Ainsi par exemple, dans la décoration des stations toute une gamme de possibilités existe et il en est de même dans une certaine mesure pour les équipements de télécommande et de télécommunications et d'autres installations à des degrés divers.

Au stade d'un projet, une évaluation pour un type d'équipement donné est donc toujours contestable. Les chiffres ci-après donnent cependant des ordres de grandeur de coûts d'équipements pour des installations de bonne qualité.

La durée de vie de ces équipements est supposée égale à 30 ans, sauf pour les installations électriques basse tension ou électromécaniques pour lesquelles elle est de 15 ans.

B.2.1.1. - Equipements des arrêts

L'ensemble des aménagements des 26 arrêts en surface (quais de station, bancs, marquises, dallages, signalisation voyageurs, locaux de service aux terminus, équipements divers), est estimé à 2 millions de francs pour la ligne.

B.2.1.2. - Installations électriques basse tension (hors alimentation électrique les lignes aériennes)

Ce poste comprend l'éclairage des arrêts et tunnels, la signalisation lumineuse, le raccordement des dépôts aux installations de l'E.D.F., les stations de ventilation et d'épuisement des eaux, les installations téléphoniques, les équipements fixes de radiotéléphonie, un poste de commande centralisé et les commandes de priorité aux feux des carrefours.

Le prix au kilomètre est de 1 million de F.

Cette évaluation indifférenciée par mode joue en défaveur du tramway et du trolleybus, puisque la ligne aérienne permet une prise de courant directe et que la ventilation est renforcée en tunnel pour les autobus, ou du tramway seul, puisqu'il faut un éclairage renforcé en tunnel pour les véhicules non guidés. Mais ces systèmes (tels le P.C.C.) ne sont pas toujours nécessaires à l'exploitation des autobus, en particulier pour les faibles trafics, et il n'est pas utile, dans cette étude, de trop détailler les installations.

B.2.1.3. - Appareils de contrôle-oblitérateurs-distributeurs

Les titres de transport sont oblitérés au sol et pour l'ensemble de la ligne une quantité de 50 distributeurs et 90 oblitérateurs environ est estimée à 1,5 million de francs.

B.2.1.4. - Voies et pistes

Dans la solution route, la piste est constituée de dalles de béton coulé, et dans les zones de fatigue de la piste (ralentissement et accélération), de pavés de béton vibré (dans la proportion 50 % - 50 %). Les aménagements complémentaires

(caniveau couvert pour les câbles de signalisation et installations d'assainissement) conduisent à un prix total de 0,85 million de francs par kilomètre de chaussée double.

Dans la solution rail, un kilomètre de voie double atteint 1,7 million de francs : voies soudées, traverses, semelles caoutchouc entre rails et traverses, ballast (15 cm sous traverse, 30 cm ailleurs) et sous-couche, profilage des terrassements, assainissement de surface (drains), rails à gorge (40 % du total) pour les zones de franchissement à niveau de la voirie routière, noyés dans un revêtement de plaques antidérapantes, voies des ateliers et parcs, pose de voie, appareils de voie, dispositifs de manoeuvre et de sécurité et réserves.

B.2.1.5. - Alimentation en énergie de traction

Les sous stations d'alimentation valent 2 millions de francs (ligne d'alimentation E.D.F., équipements, bâtiments et coûts fonciers). Leur puissance est de 2 000 Kw. Il faut une sous-station pour 1 000 Kwh consommés en heure de pointe.

B.2.1.6. - Lignes aériennes

L'ensemble porteur bronze, fil de contact, feeders de ligne et support, l'électrification des voies des dépôts et l'achat d'un véhicule à plateforme élévatrice à usages multiples représentent un investissement de 300 000 F par kilomètre de ligne pour le tramway et de 450 000 F par kilomètre de ligne pour le trolleybus, la section de cuivre des fils de contact étant plus grande pour ce dernier mode (deux polarités concernées) et la portée maximale des supports plus faible que pour le tramway.

B.2.1.7. - Dépôts et ateliers

Les coûts par emplacement prennent en compte l'appartenance de la ligne à un réseau, ce qui permet de ne pas considérer de coûts fixes dans le cas des parcs de faible volume. (Pour les faibles trafics, le dépôt est unique pour toutes les lignes. Pour les forts trafics, une même ligne pourra entreposer son parc dans un ou plusieurs dépôts qui lui sont propres, et le reliquat dans des dépôts communs à plusieurs lignes).

Pour les autobus, le dépôt consiste en un hall de remisage avec installations de lavage des voitures, de chauffage et d'extraction des fumées, un atelier d'entretien avec fosse et pont élévateur, des bureaux, un magasin et des locaux sociaux.

Pour les trolleybus, les coûts par emplacement sont inférieurs (de 10 % environ) puisqu'il n'est pas nécessaire de prévoir de dispositif d'extraction des fumées ou de chauffage des véhicules, ni de citernes de stockage des carburants.

Pour le tramway, l'atelier est composé d'un hall de levage (fosses d'entretien et de levages, appareillage de reprofilage des bandages) et d'un hall de réparation (ateliers d'électricité, d'ajustage, de machines-outils, de carrosserie, magasin, pont roulant). Le magasin est desservi par voie routière, avec une aire de manoeuvre pour les poids lourds. On trouve également dans le dépôt, outre le hall de remisage, les bureaux et les locaux sociaux, un service des installations fixes (parc à rails avec pont roulant, ateliers d'ajustage, de forge et de soudure), et le faisceau des voies de remise, d'accès au hall de levage avec voie de garage, et d'accès au parc à rail avec voie en tiroir et évitement de manoeuvre. Chaque dépôt peut accueillir environ 250 autobus ou trolleybus, 150 autobus articulés, 75 tramways en éléments courts ou 50 tramways en élément long.

Les coûts par emplacement sont les suivants :

Coût par emplacement	Autobus.....	85 000 F
	Autobus articulé.....	140 000 F
	Trolleybus.....	76 500 F
	Trolleybus articulé.....	126 000 F
	Tramway élément court.....	200 000 F
	Tramway élément long.....	250 000 F

B.2.2. - Dépenses totales

B.2.2.1. - Aménagements des arrêts

Cette dépense représente 2 millions de francs pour tous les modes.

B.2.2.2. - Installations électriques basse tension

La dépense totale est de 15 millions de francs quel que soit le mode.

B.2.2.3. - Appareils de contrôle-oblitérateurs-distributeurs

1,5 million de francs sont consacrés à ce poste.

B.2.2.4. - Voies et pistes

Les dépenses s'élèvent à 12,75 millions de francs pour les véhicules sur route,
et à 25,5 millions de francs pour les véhicules sur rail.

B.2.2.5. - Alimentation en énergie de traction

La consommation par mode et par véhicule-kilomètre est la suivante :

Trolleybus	2 Kwh
Trolleybus articulé.....	3 Kwh
Tramway élément court.....	4Kwh par élément
Tramway élément long.....	5Kwh par élément

De la puissance appelée en pointe on déduit le nombre de sous-stations nécessaires tel qu'il apparait dans le tableau ci-après.

Trafic de pointe (voyageurs/heure)	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court	Tramway élément long
1 500 v/h	2	2	2	2
3 000 v/h	4	3	3	3
6 000 v/h	7	6	6	5
12 000 v/h	13	12	11	9

Dépenses d'investissements pour l'alimentation en énergie de traction (en millions de francs)				
Trafic de pointe	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court	Tramway élément long
1 500 v/h	4	4	4	4
3 000 v/h	6	6	6	6
6 000 v/h	14	12	12	10
12 000 v/h	26	24	22	18

B.2.2.6. - Lignes aériennes

Les investissements en lignes aériennes conduisent à des dépenses de 6,75 millions de francs pour la solution trolleybus articulé, et de 4,5 millions de francs pour la solution tramway.

B.2.2.7. - Dépôts et ateliers

Pour les dépôts et ateliers, le tableau ci-dessous résume les dépenses engagées (en millions de francs) :

Trafic de pointe	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court	Tramway élément long
1 500 v/h	3,40	3,36	3,06	3,02	3,00	3,00
3 000 v/h	7,31	6,86	6,58	6,17	6,20	5,50
6 000 v/h	17,94	14,98	16,14	13,48	12,40	11,00
12 000 v/h	68,51	39,62	61,66	35,66	26,00	22,00

B.3. - Matériel roulant

Les prix unitaires concernent des véhicules de série courante, et incluent le coût des équipements embarqués de radiotéléphonie.

Prix unitaires	Autobus.....	240 000 F
	Autobus articulé.....	450 000 F
	Trolleybus.....	350 000 F
	Trolleybus articulé.....	540 000 F
	Tramway élément court : tramway étroit.....	2 200 000 F
	tramway large	2 000 000 F
	Tramway élément long : tramway étroit.....	3 000 000 F
	tramway large	2 700 000 F

D'où les investissements en matériel roulant selon les trafics de pointe :

Trafic de pointe	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court		Tramway élément long	
					étroit	large	étroit	large
1 500 v/h	9,60	10,80	14,00	12,96	33,00	30,00	36,00	32,40
3 000 v/h	20,64	22,05	30,10	26,46	68,20	62,00	66,00	59,40
6 000 v/h	50,64	48,15	73,85	57,78	136,40	124,00	132,00	118,80
12 000 v/h	193,44	127,35	282,10	152,82	286,00	260,00	264,00	237,60

L'amortissement est calculé sur la durée de vie, mais celle-ci varie suivant les modes avec le kilométrage annuel par voiture affectée (cf tableau récapitulatif).

Le kilométrage total maximal atteint par véhicule est de 550 000 km en 8 ans pour l'autobus, de 750 000 km en 10 ans pour l'autobus articulé, de 800 000 km en 12 ans pour le trolleybus, de 1 100 000 km en 15 ans pour le trolleybus articulé. Pour le tramway, ce kilométrage peut dépasser 3 000 000 km en 25 ans.

B.4. - Tableaux récapitulatifs

Les dépenses totales d'investissement sont regroupées au tableau n° A2-5.

TABLEAU N° A2-5 - MONTANT TOTAL DES INVESTISSEMENTS

(en millions de francs)

	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court		Tramway élément long	
					étroit	large	étroit	large
GENIE CIVIL								
Durée de vie 30 ans								
Coût minimal	86,1	86,1	86,1	86,1	75,0	79,2	75,0	79,2
Coût Neuchâteau (a)	138,3	138,3	138,3	138,3	120,45	127,2	120,45	127,2
Coût maximal	258,3	258,3	258,3	258,3	225,00	237,5	225,00	237,5
EQUIPEMENTS (b)								
1-Durée de vie 30 ans								
Trafic de pointe								
1 500 voyageurs/h	18,15	18,11	28,56	28,52	39,00	39,00	39,00	39,00
3 000 voyageurs/h	22,06	21,61	36,08	33,67	44,20	44,20	43,50	43,50
6 000 voyageurs/h	32,69	29,73	51,64	46,98	56,40	56,40	53,00	53,00
12 000 voyageurs/h	83,26	54,37	109,16	81,16	80,00	80,00	72,00	72,00
2-Durée de vie 15 ans								
16,5 millions de francs pour tous les modes et tous les trafics								
MATERIEL ROULANT (c)								
Trafic de pointe								
1 500 voyageurs/h	9,60	10,80	14,00	12,96	33,00	30,00	36,00	32,40
3 000 voyageurs/h	20,64	22,05	30,10	26,46	68,20	62,00	66,00	59,40
6 000 voyageurs/h	50,64	48,15	73,85	57,78	136,40	124,00	132,00	118,80
12 000 voyageurs/h	193,44	127,35	282,10	152,82	286,00	260,00	264,00	237,60
TOTAL NEUCHATEAU								
(a + b + c)								
Trafic de pointe								
1 500 voyageurs/h	182,55	183,71	197,36	196,28	208,95	212,70	211,95	215,10
3 000 voyageurs/h	197,50	198,46	220,98	214,93	249,35	249,90	246,45	246,60
6 000 voyageurs/h	238,13	232,68	280,29	259,56	239,75	324,10	321,95	315,50
12 000 voyageurs/h	431,50	336,52	546,06	388,78	502,95	483,70	472,95	453,30
Durée de vie du matériel roulant								
1 500 voyageurs/h	8	10	12	15	25	25	25	25
3 000 voyageurs/h	9	11	13	16	25	25	25	25
6 000 voyageurs/h	10,5	12	14,5	18	25	25	25	25
12 000 voyageurs/h	13	14	17	20	25	25	25	25

GENIE
d
Dépe
m
Dépe
N
Dépe
EQU
1 5
3 0
6
12
MA

		Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court		Tramway élément long	
						étroit	large	étroit	large
GENIE CIVIL									
Taux d'actualisation									
Dépenses minimales	6 %	6,25	6,25	6,25	6,25	5,45	5,75	5,45	5,75
	8 %	7,65	7,65	7,65	7,65	6,66	7,03	6,66	7,03
	10 %	9,14	9,14	9,14	9,14	7,96	8,40	7,96	8,40
Dépenses Neuchâteau	6 %	10,04	10,04	10,04	10,04	8,74	9,23	8,74	9,23
	8 %	12,28	12,28	12,28	12,28	10,70	11,30	10,70	11,30
	10 %	14,67	14,67	14,67	14,67	12,78	13,50	12,78	13,50
Dépenses maximales	6 %	18,75	18,75	18,75	18,75	16,34	17,24	16,34	17,24
	8 %	22,94	22,94	22,94	22,94	19,98	21,09	19,98	21,09
	10 %	27,41	27,41	27,41	27,41	23,87	25,20	23,87	25,20
EQUIPEMENTS									
1 500 voy./h	6 %	3,02	3,01	3,77	3,77	4,53		4,53	
	8 %	3,54	3,54	4,47	4,46	5,39		5,39	
	10 %	4,10	4,09	5,20	5,20	6,31		6,31	
3 000 voy./h	6 %	3,30	3,27	4,32	4,14	4,91		4,86	
	8 %	3,89	3,85	5,13	4,92	5,85		5,79	
	10 %	4,51	4,46	6,00	5,74	6,86		6,79	
6 000 voy./h	6 %	4,07	3,86	5,45	5,11	5,79		5,55	
	8 %	4,83	4,57	6,52	6,10	6,94		6,64	
	10 %	5,64	5,32	7,65	7,15	8,15		7,79	
12 000 voy./h	6 %	7,74	5,65	9,63	7,59	7,51		6,93	
	8 %	9,32	6,76	11,62	9,14	9,03		8,32	
	10 %	11,00	7,94	13,75	10,78	10,66		9,81	
MATERIEL ROULANT									
1 500 voy./h	6 %	1,55	1,47	1,67	1,33	2,58	2,35	2,82	2,53
	8 %	1,67	1,61	1,86	1,51	3,09	2,81	3,37	3,04
	10 %	1,80	1,76	2,06	1,70	3,64	3,31	3,97	3,57
3 000 voy./h	6 %	3,03	2,80	3,40	2,62	5,33	4,85	5,16	4,65
	8 %	3,30	3,09	3,81	2,99	6,39	5,81	6,18	5,57
	10 %	3,58	3,40	4,24	3,38	7,52	6,83	7,27	6,55
6 000 voy./h	6 %	6,65	5,74	7,78	5,34	10,67	9,70	10,32	9,29
	8 %	7,32	6,39	8,80	6,17	12,78	11,62	12,37	11,13
	10 %	8,02	7,07	9,87	7,04	15,03	13,66	14,55	13,09
12 000 voy./h	6 %	21,86	13,70	26,91	13,33	22,37	20,33	20,64	18,58
	8 %	24,47	15,45	30,92	15,57	26,80	24,36	24,74	22,26
	10 %	27,24	17,28	35,18	17,96	31,52	28,65	29,09	26,18
TOTAL DES AMORTISSEMENTS *									
1 500 voy./h		17,49	17,43	18,60	18,25	19,18	19,50	19,46	19,73
3 000 voy./h		19,47	19,22	21,22	20,19	22,94	22,96	22,67	22,66
6 000 voy./h		24,43	23,24	27,58	24,55	30,42	29,86	29,70	29,06
12 000 voy./h		46,07	34,49	54,82	36,98	46,53	44,69	43,76	41,88

* Taux d'actualisation 8 % - Hypothèse Neuchâteau pour le génie civil

B.5. - Annuités d'amortissement des équipements

Trois taux d'actualisation ont été envisagés : 6 %, 8 %, 10 %. Le dernier pourcentage est celui imposé au VI^e plan pour les investissements publics. Il n'est donc qu'à titre indicatif, car pour ce type d'investissements il est permis de penser que les experts ont eu tendance à surestimer les avantages des projets établis pour se voir attribuer une part plus grande du budget de l'état. Ce phénomène qui conduit à proposer un grand nombre de projets "rentables", confronté avec le volume limité des crédits disponibles, a amené les Pouvoirs Publics à retenir un taux d'actualisation artificiellement élevé.

Les taux de 6 % et 8 % permettent une comparaison plus réaliste.

Pour l'étape finale de la comparaison entre les modes, c'est le taux moyen de 8 % qui sert de base aux calculs.

Le montant des annuités d'amortissement en fonction du poste de dépenses, du trafic de pointe, du mode de transport et du taux d'actualisation, figure dans le tableau n° A2-6.

C - DEPENSES D'EXPLOITATION

C.1. - Données de base

Tous les prix sont donnés aux conditions économiques du 1^{er} Janvier 1975.

C.1.1. - Coût du personnel de conduite

Le coût moyen de l'heure de conduite est calculé sur la base de données d'exploitation de Lyon, Saint-Etienne, Marseille et Paris pour des autobus et trolleybus "standard" et des tramways de 180 places. Il inclut des majorations pour absentéisme, congés, maladies et temps de travail hors conduite des machinistes ou wattmen, ainsi que les dépenses d'encadrement (inspecteurs de ligne, aiguilleurs et manoeuvres, etc...). Les dépenses annexes de confection et d'habillage des horaires et les charges directes de fonctionnement du service du mouvement (y compris l'habillement, les imprimés et les fournitures de bureau). Les charges sociales sont incluses.

Par manque de données sur le coût du personnel de conduite des autobus ou trolleybus articulés ainsi que les tramways à grande capacité (255 places), l'hypothèse a été faite d'une variation linéaire du coût horaire en fonction de la capacité du véhicule (voir tableau ci-après).

Capacité du véhicule	Coût de l'heure de conduite
72	28,0 F
120	29,1 F
180	30,5 F
255	32,3 F

C.1.2. - Dépenses d'assurances au tiers

Comme pour les dépenses de personnel de conduite, les dépenses d'assurances au tiers ont été interpolées ou extrapolées linéairement à partir de renseignements fournis par les transports en commun stéphanois. Ces dépenses ont sans doute été surestimées pour les véhicules à grande capacité mais également pour l'ensemble des modes, puisqu'elles s'appliquent à des véhicules mêlés à la circulation générale sur l'ensemble de leur itinéraire, alors que dans la présente étude les différents modes sont en site propre en dehors des carrefours :

Capacité des véhicules	Dépenses d'assurance au tiers au véhicule-kilomètre
72	0,148 F
120	0,194 F
180	0,251 F
255	0,323 F

C.1.3. - Energie de traction

Les hypothèses sont les suivantes :

- le prix du litre de gazole, toutes taxes comprises, est de 1,15 F,
- le prix du Kwh basse tension, hors TVA, est de 0,20 F, (y compris les pertes en lignes),
- la consommation des divers véhicules est :
 - . pour l'autobus standard, de 35,5 l aux 100 km,
 - . pour l'autobus articulé, de 53 l aux 100 km,
 - . pour le trolleybus, de 2 Kwh/km,
 - . pour le trolleybus articulé, de 3 Kwh/km,
 - . pour le tramway élément court, de 4 Kwh/km par élément,
 - . pour le tramway élément long, de 5 Kwh/km par élément.

C.1.4. - Energie utilisée dans les installations fixes

Le coût du Kwh basse tension hors énergie de traction s'établit à 0,40 F.

L'énergie consommée hors traction est utilisée :

- pour le chauffage et l'éclairage des arrêts et des tunnels,
- pour l'épuisement des eaux,
- pour la signalisation et les télétransmissions,
- pour le fonctionnement des appareils électromécaniques.

C.1.4.1. - Eclairage et chauffage des arrêts et tunnels

L'éclairage de nuit d'un arrêt à l'air libre fait appel à une puissance de 1 200 pendant 10 heures.

Pour les systèmes autres que le tramway, l'absence de guidage amène à renforcer l'éclairage du tunnel en centre-ville : pour 500 m de souterrain, 10 Kwh sont consommés pendant 21 heures, et il faut un renforcement de l'éclairage de 9 Kw à chacune des entrées des tunnels pendant la journée.

C.1.4.2. - Ventilation et épuisement des eaux

La ventilation des souterrains se fait de façon naturelle dans les 2 solutions, rail et route.

Pour l'épuisement des eaux, un poste pouvant débiter 10 litres par seconde est prévu pour chacun des deux souterrains. Il consomme 24 h sur 24, 2 Kwh par heure pendant toute l'année.

C.1.4.3. - Signalisation et télétransmissions

Les installations de signalisation ont une puissance supposée de 12 Kw pour les systèmes tramways et 23 Kw pour les autobus et trolleybus. L'énergie ainsi consommée pendant 21 heures par jour intègre celle d'alimentation des postes de commande d'itinéraire et des moteurs d'aiguille.

Les télécommandes des sous-stations et des ouvrages d'épuisement des eaux, et les téléphones, consommeraient 2 Kwh pendant 21 heures par jour ; ce chiffre incluant également les consommations auxiliaires (tableaux d'information du public, etc...).

C.1.4.4. - Appareils électromécaniques

La consommation annuelle pour les distributeurs, oblitérateurs, etc... est estimée à 30 000 Kwh par an.

C.1.5. - Coûts d'entretien du matériel roulant

Les hypothèses faites pour l'entretien sont les suivantes :

- aucun véhicule autre que le tramway ne fait l'objet de "grandes" réparations : pour le tramway, le travail effectué au bout de 750 000 km est la vérification en atelier de l'ensemble des organes, et la remise à neuf des intérieurs et des matériels usés ;

- la révision et la remise en état d'organes mécaniques a lieu en dépôt : pour les autobus (articulés ou non) tous les 150 000 km, pour les trolleybus et trolleybus articulés tous les 200 000 km et pour les tramways tous les 250 000 km ;
- l'entretien courant comprend de petites réparations, les opérations journalières d'entretien, des visites systématiques ;
- le coût total tient compte des dépenses en matières consommables (huiles, graisses, etc...) des dépenses en pneumatiques et du nettoyage intérieur et extérieur des véhicules. Il intègre également les frais d'entretien, de nettoyage et de chauffage des dépôts. Par véhicule, les coûts d'entretien sont composés d'une part fixe et d'une part proportionnelle au nombre de véhicules-kilomètres :

Coûts unitaires	Autobus	12 000 F + 0,70 F par V x K
	Autobus articulé	15 000 F + 0,95 F par V x K
	Trolleybus.....	12 000 F + 0,63 F par V x K
	Trolleybus articulé.....	15 000 F + 0,85 F par V x K
	Tramway élément court	20 000 F + 0,90 F par V x K
	Tramway élément long.....	25 000 F + 1,15 F par V x K

Dépenses d'entretien par véhicule au parc (en francs)

Trafic de pointe	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court	tramway élément long
1 500 v/h	58 800	84 800	54 100	77 400	104 500	149 700
3 000 v/h	52 400	75 600	48 300	69 200	85 200	109 700
6 000 v/h	45 400	68 900	42 000	63 200	79.900	103 800
12 000 v/h	29 300	55 400	27 600	51 100	76 500	101 000

C.1.6. - Coût d'entretien des installations fixes

C.1.6.1. - Voies et pistes

Le coût d'entretien du tunnel fait partie de cette évaluation qui distingue une part fixe et une part proportionnelle au trafic.

Pour les autobus et trolleybus, la part fixe assure la surveillance des ouvrages, le nettoyage de la piste et les travaux induits par les mouvements du sous-sol, tandis que la part proportionnelle au trafic concerne la remise en état de la chaussée, usée et déformée par le passage des voitures. Par manque de données, cette évaluation ne peut donner qu'un ordre de grandeur.

Pour les tramways, la part fixe paie la surveillance des installations, la protection contre les intempéries et la corrosion, les travaux induits par les mouvements du sous-sol, etc... et la part proportionnelle au trafic le maintien en état de la voie et des rails (dressages, meulages, bourrages, etc...).

Pour l'ensemble de la ligne, la part fixe représente 150 000 F pour les véhicules sur pneus et 180 000 F pour les véhicules sur rails.

Les parts proportionnelles au trafic sont fonction du nombre d'essieux-km (0,012 par essieux-km sauf pour le tramway étroit, pour lequel les dépenses sont supposées identiques à celle du tramway large). On obtient, en francs par véhicule-km :

Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court	Tramway élément long
0,024	0,036	0,024	0,036	0,072	0,096

Rappelons l'hypothèse d'une durée de vie de 30 ans de la voie comme de la piste, ce qui impose des travaux de réfection importants.

C.1.6.2. - Stations

Les coûts d'entretien des stations et des accès sont calculés sur la base de 8 500 F par arrêt en moyenne, soit 221 000 F au total pour la ligne-type. Ces coûts sont identiques dans toutes les solutions, mais il a semblé réaliste de les doubler pour le plus fort trafic envisagé, soit 12 000 voyageurs par heure en pointe.

C.1.6.3. - Lignes aériennes

Pour ce poste, les coûts d'entretien ont également été divisés en coûts fixes (surveillance et entretien périodique des ouvrages) et en dépenses proportionnelles au trafic (usure des fils et remise en état de la ligne).

Pour les trolleybus et les tramways, les premières dépenses se montent à 90 000 F pour les 15 kilomètres de ligne, et les secondes à 0,025 F par élément-kilomètre pour le tramway, et à 0,060 F par véhicule-kilomètre pour le trolleybus articulé ou non.

C.1.6.4. - Installations électromécaniques et de sécurité

Les dépenses d'entretien ont été estimées globalement :

- à 50 000 F annuels pour les distributeurs et oblitérateurs,
- à 12 000 F et 30 000 F respectivement pour le tramway et les véhicules sur pneus pour les installations d'épuisement des eaux, les dispositifs d'éclairage en tunnel etc...,
- à 180 000 F dans les systèmes sur route et 125 000 F dans les systèmes sur rails pour les installations de radiotéléphonie, de télécommande et de télésignalisation, les téléphones et les sous-stations.

C.1.6.5. - Récapitulatif des dépenses de base d'entretien des installations fixes.

- Coûts fixes (en millions de francs) :

Trafic de pointe	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court	Tramway élément long
En dessous de 12 000 v/h	0,631	0,631	0,721	0,721	0,678	0,678
12 000 v/h	0,852	0,852	0,942	0,942	0,899	0,899

- Coûts proportionnels au trafic (en francs par véhicule-kilomètre) :

Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court	Tramway élément long
0,024	0,036	0,084	0,096	0,097	0,121

C.1.7. - Dépenses de perception liées au trafic

Les dépenses occasionnées par la fabrication des titres de transport, l'inspection, le contrôle et le transport des recettes, ainsi que par la vente des billets chez certains commerçants sont évaluées à 2,80 F pour 1 000 voyageurs.

C.1.8. - Remise en état du matériel accidenté

Connaissant les coûts de remise en état des autobus accidentés à Paris, les dépenses au véhicule-kilomètre pour les autres matériels étudiés ont été supposées proportionnelles aux dépenses d'assurance au tiers.

Capacité	Dépense de remise en état du matériel accidenté au véhicule-kilomètre
72	0,040 F
120	0,052 F
180	0,069 F
255	0,087 F

C.1.9. - Frais de direction et d'administration

Ces frais représentent 10 % des dépenses de personnel d'exploitation et d'entretien. La répartition frais de personnel - dépenses de matières, conduit aux pourcentages suivants de dépenses de personnel dans l'ensemble des dépenses :

	Autobus-Trolleybus (articulés ou non)	Tramway
Personnel de conduite	100 %	100 %
Entretien du matériel roulant	75 %	82 %
Entretien des installations fixes	96 %	96 %
Coût de perception lié au trafic	96 %	96 %
Remise en état du matériel accidenté	50 %	50 %

C.2. - Dépenses totales d'exploitation

Toutes les dépenses d'exploitation sont regroupées dans un unique tableau, qui fait suite au détail ci-dessous des dépenses d'entretien des installations fixes.

C.2.1. - Dépenses d'entretien des installations fixes

C.2.1.1. - Dépenses d'entretien des voies et pistes (en millions de francs)

Trafic de pointe	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court	Tramway élément long
1 500 v/h	0,21	0,21	0,21	0,22	0,28	0,30
3 000 v/h	0,27	0,26	0,27	0,26	0,34	0,34
6 000 v/h	0,39	0,37	0,39	0,37	0,48	0,47
12 000 v/h	0,63	0,58	0,63	0,58	0,77	0,74

C.2.1.2. - Dépenses d'entretien des stations (en millions de francs)

Trafic de pointe	Autobus-Trolleybus-Tramway
1 500 à 6 000 v/h	0,22
12 000 v/h	0,44

C.2.1.3. - Dépenses d'entretien des lignes aériennes (en millions de francs)

Trafic de pointe	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court	Tramway élément long
1 500 v/h	0,25	0,20	0,13	0,12
3 000 v/h	0,39	0,28	0,15	0,13
6 000 v/h	0,69	0,45	0,19	0,17
12 000 v/h	1,29	0,81	0,29	0,24

C.2.1.4. - Dépenses d'entretien des installations électromécaniques et de sécurité (en millions de francs)

Autobus-Trolleybus	Tramway
0,26	0,19

C.2.2. - Tableau récapitulatif des dépenses d'exploitation
(Tableau n° A2-7 ci-après)

D - COMPARAISON ENTRE LES MODES (cf. figures A2-8 à A2-12)

Les hypothèses initiales sur le trafic, faites au paragraphe A, sont celles de l'invariance du nombre de voyageurs transportés, mais d'une offre de transport variable avec les systèmes envisagés.

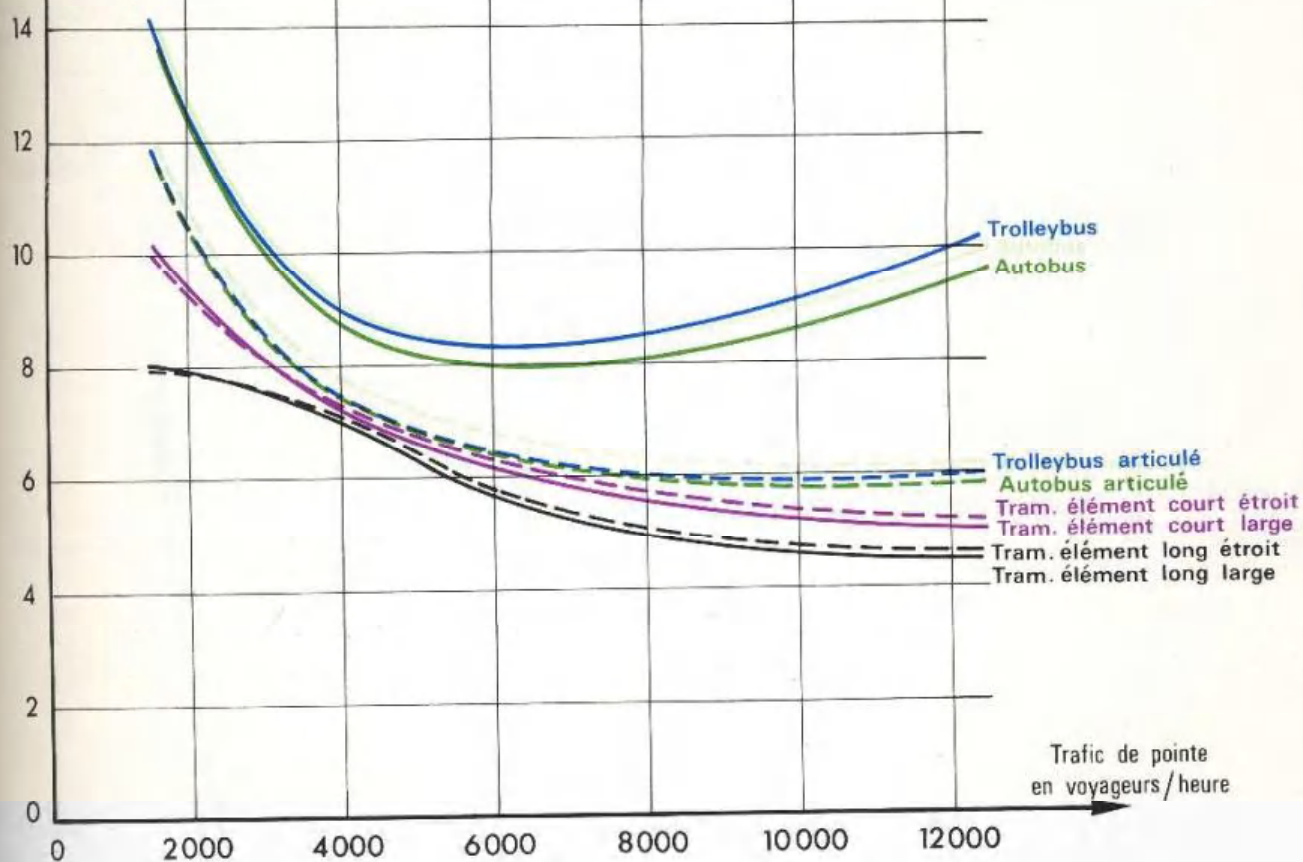
D.1. - Comparaison économique

Deux indicateurs, en dehors des dépenses totales, ont été retenus pour la comparaison économique entre les modes :

- les dépenses à la place-kilomètre offerte (PKO),
- les dépenses au voyageur-kilomètre transporté.

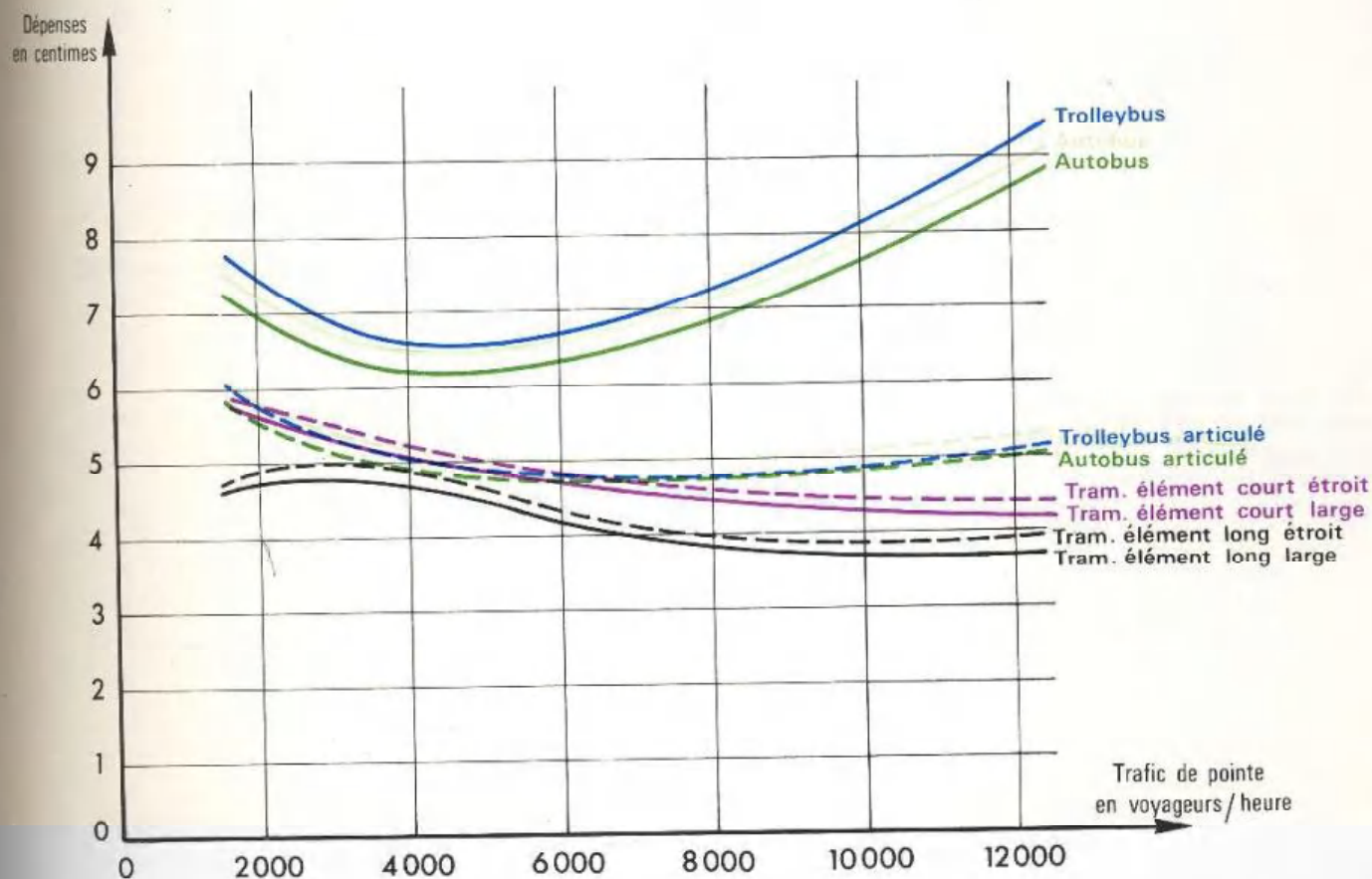
Un seul de ces ratios suffirait pour la comparaison sans l'hypothèse du respect d'une certaine gamme d'intervalles et d'une fréquence minimale de passage entre deux véhicules successifs (ils seraient alors strictement proportionnels pour un mode donné, quel que soit le niveau de trafic). Mais cette contrainte, qui oblige les exploitants à renforcer l'offre de transport dans le cas des modes à grande capacité, a deux effets contraires sur les indicateurs précédents. C'est pourquoi les deux ratios sont présentés.

	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court	Tramway élément long
PERSONNEL DE CONDUITE						
1 500 voyageurs/h	3,36	2,28	3,36	2,28	1,90	1,86
3 000 voyageurs/h	6,47	4,08	6,47	4,08	3,04	2,32
6 000 voyageurs/h	15,06	8,44	15,06	8,44	4,23	3,30
12 000 voyageurs/h	47,20	20,18	47,20	20,18	6,00	4,47
DEPENSES D'ASSURANCES						
1 500 voyageurs/h	0,40	0,34	0,40	0,34	0,35	0,42
3 000 voyageurs/h	0,73	0,61	0,73	0,61	0,56	0,52
6 000 voyageurs/h	1,49	1,18	1,49	1,18	4,04	0,97
12 000 voyageurs/h	2,95	2,33	2,95	2,33	2,05	1,88
ENERGIE DE TRACTION						
1 500 voyageurs/h	1,09	1,07	1,07	1,06	1,13	1,30
3 000 voyageurs/h	2,03	1,90	1,98	1,87	1,80	1,62
6 000 voyageurs/h	4,11	3,70	4,03	3,64	3,30	3,01
12 000 voyageurs/h	8,14	7,33	7,98	7,21	6,53	5,81
ENERGIE HORS TRACTION						
1 500 à 12 000 v/h	0,24	0,24	0,24	0,24	0,11	0,11
ENTRETIEN DU MATERIEL ROULANT						
1 500 voyageurs/h	2,35	2,04	2,16	1,86	1,57	1,80
3 000 voyageurs/h	4,50	3,79	4,16	3,47	2,64	2,41
6 000 voyageurs/h	9,58	7,37	8,87	6,76	4,95	4,57
12 000 voyageurs/h	23,63	15,66	22,24	14,46	9,94	8,88
ENTRETIEN DES INSTALLATIONS FIXES						
1 500 voyageurs/h	0,70	0,69	0,95	0,89	0,81	0,83
3 000 voyageurs/h	0,75	0,74	1,14	1,02	0,89	0,87
6 000 voyageurs/h	0,87	0,85	1,57	1,30	1,08	1,04
12 000 voyageurs/h	1,33	1,06	2,62	2,10	1,69	1,60
DEPENSES DE PERCEPTION LIEES AU TRAFIC						
1 500 voyageurs/h				0,03		
3 000 voyageurs/h				0,07		
6 000 voyageurs/h				0,13		
12 000 voyageurs/h				0,26		
REMISE EN ETAT DU MATERIEL ACCIDENTE						
1 500 voyageurs/h	0,11	0,09	0,11	0,09	0,10	0,11
3 000 voyageurs/h	0,20	0,16	0,20	0,16	0,16	0,14
6 000 voyageurs/h	0,40	0,32	0,40	0,32	0,28	0,26
12 000 voyageurs/h	0,80	0,63	0,80	0,63	0,56	0,51
FRAIS DE DIRECTION						
1 500 voyageurs/h	0,58	0,45	0,59	0,46	0,40	0,42
3 000 voyageurs/h	1,07	0,78	1,08	0,78	0,62	0,53
6 000 voyageurs/h	2,34	1,50	2,35	1,50	0,96	0,83
12 000 voyageurs/h	6,68	3,35	6,70	3,36	1,63	1,38
TOTAL						
1 500 voyageurs/h	8,86	7,23	8,91	7,25	6,40	6,88
3 000 voyageurs/h	16,06	12,37	16,07	12,30	9,89	8,59
6 000 voyageurs/h	34,22	23,73	34,14	23,51	16,08	14,22
12 000 voyageurs/h	91,23	51,04	90,99	50,77	28,77	24,90



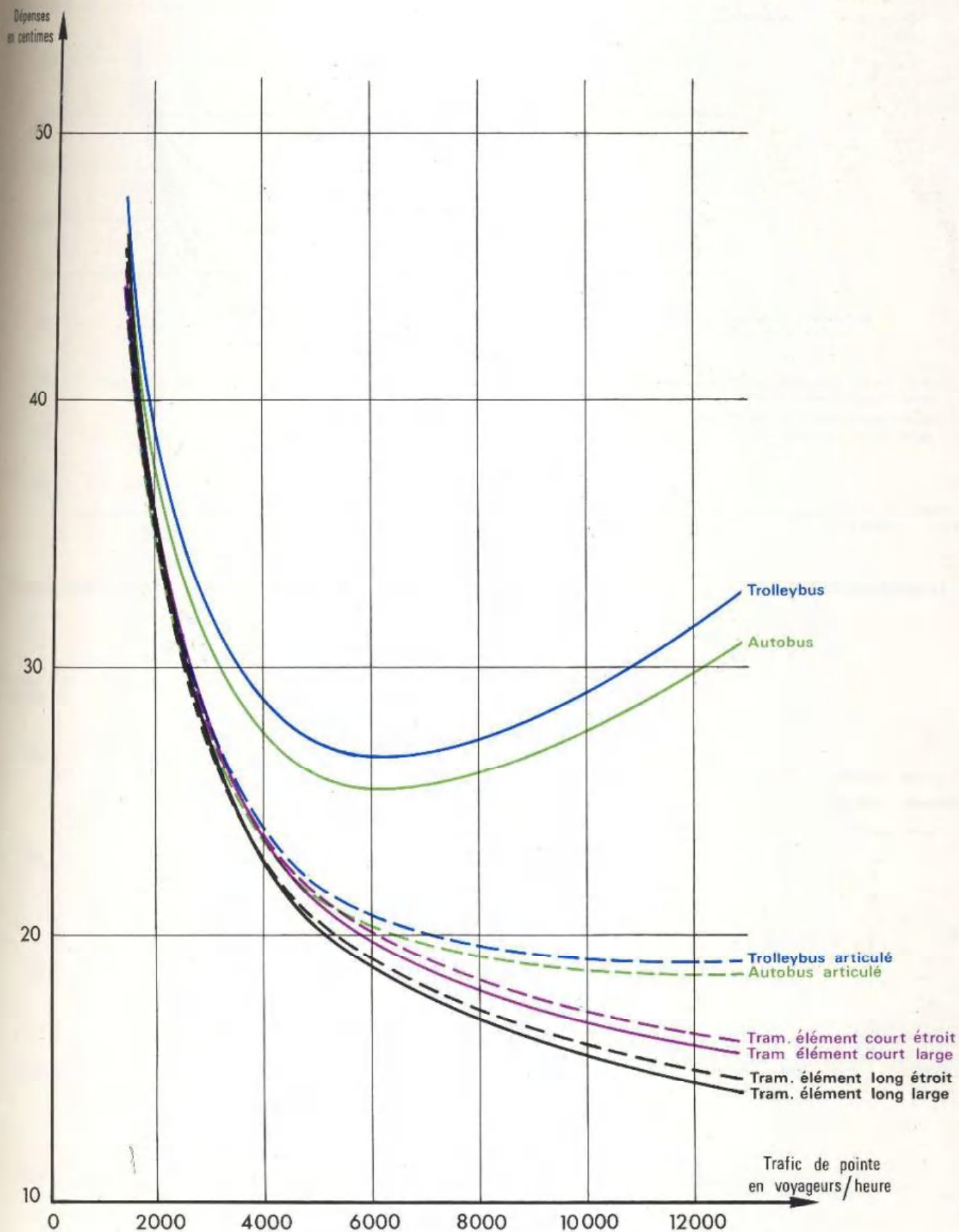
Dépenses totales d'exploitation et amortissement à la P.K.O

Fig : A2_8



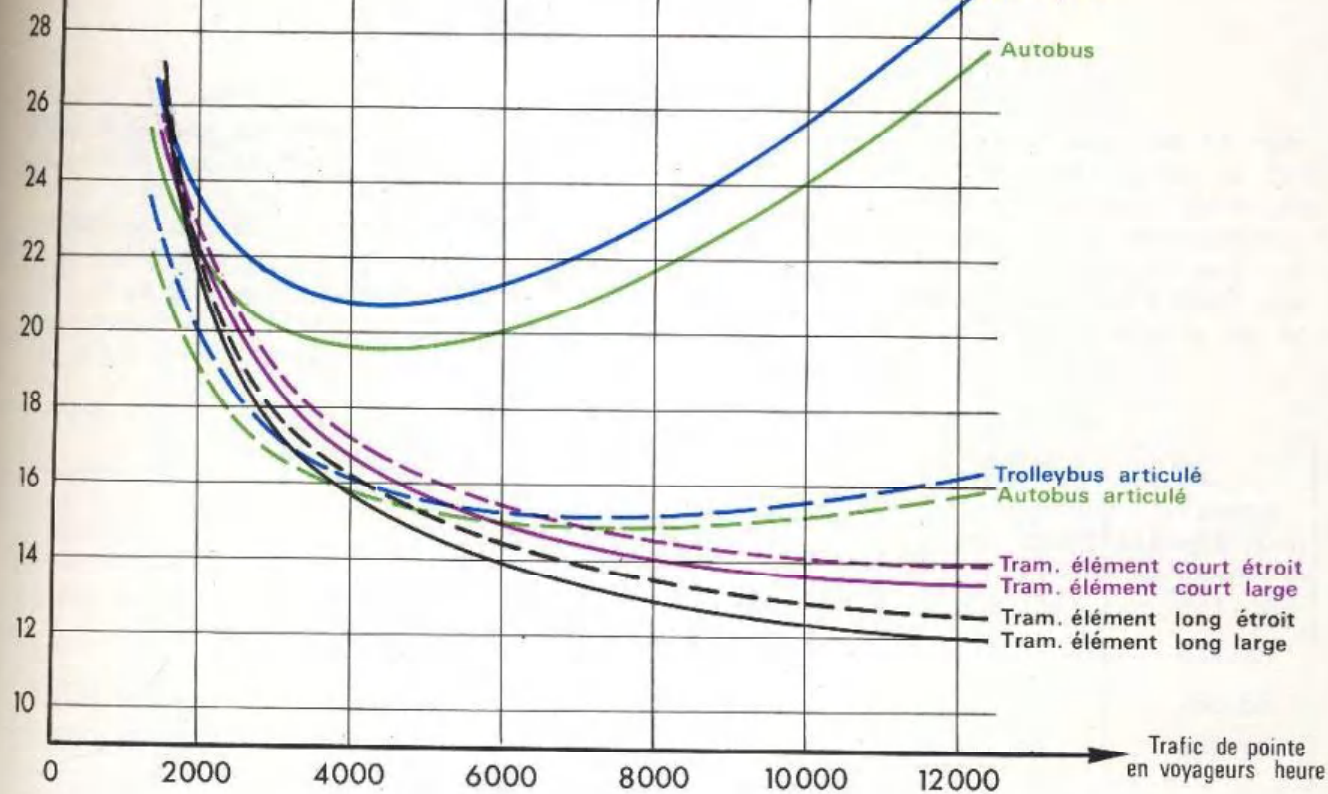
Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement hors génie civil à la P.K.O

Fig : A2_9



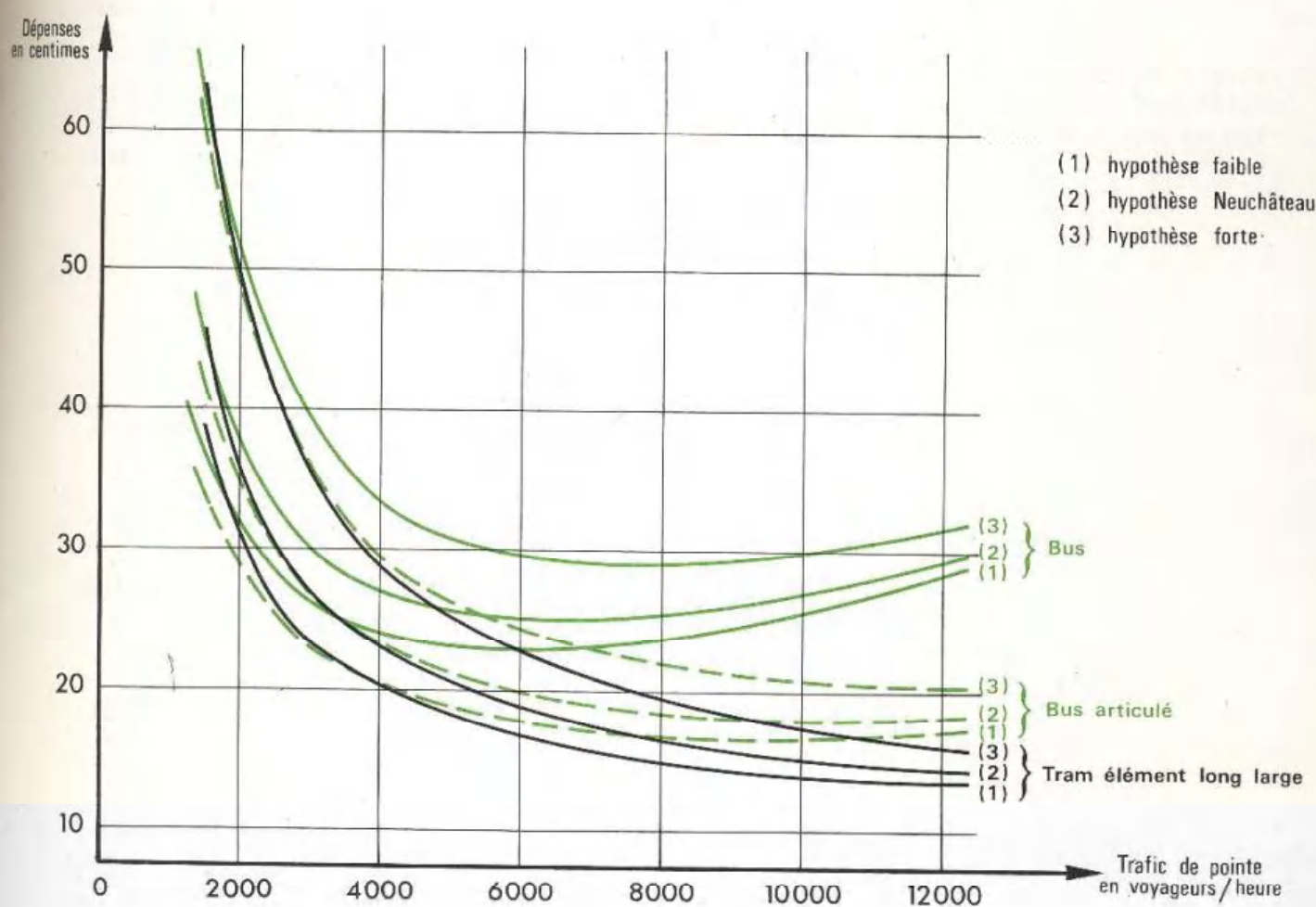
Dépenses totales au voyageur.km - Exploitation et Amortissement

Fig : A2 - 10



Dépenses hors génie civil au voyageur . km – Exploitation et Amortissement

Fig: A2-11



Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement par voyageur . km

sensibilité au coût de génie civil

Fig: A2-12

Les dépenses au voyageur-kilomètre constituent le meilleur indicateur de la rentabilité des systèmes envisagés. Ce ratio permet de déterminer également les tarifs à appliquer par la compagnie de transport pour qu'elle puisse équilibrer ses dépenses et ses recettes. Mais il pénalise le tramway parce que les contraintes sur les horaires de passage, sources de dépenses supplémentaires, s'exercent sur lui plus que sur les autres modes ou même, pour les trafics élevés, ne pèsent que sur lui (comme l'indique le tableau ci-dessous, c'est le mode qui présente de loin la plus forte surcapacité).

Places-kilomètres offertes annuellement (en millions)						
Trafic de pointe	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court	Tramway élément long
1 500 v/h	192,49	211,58	192,49	211,58	253,38	331,77
3 000 v/h	357,20	374,90	357,20	374,90	404,35	413,35
6 000 v/h	724,54	728,33	724,54	728,33	742,24	768,68
12 000 v/h	1 436,17	1 442,50	1 436,17	1 442,50	1 468,59	1 482,69

Le second ratio, à l'inverse, avantage le tramway puisque dans la gamme de trafic considéré il est le seul mode pour lequel le coût marginal de la place-kilomètre offerte décroît : ce mode est celui qui supporte le mieux un accroissement du niveau de service offert.

La comparaison entre les modes est illustrée sous forme de tableaux et de figures et s'appuie sur la solution moyenne des coûts de génie civil (dépenses Neuchâteau) et du taux d'actualisation (8 %). Quant au trafic annuel, il est basé sur un parcours moyen par voyageur de 5 kilomètres,

Trafic de pointe	Trafic annuel (en millions de voyageurs-kilomètres)
1 500 v/h	57,62
3 000 v/h	115,24
6 000 v/h	230,49
12 000 v/h	460,98

Successivement sont présentées dans les tableaux n° A2-13, A2-14 et A2-15 :

- les annuités d'amortissement hors génie civil
- les annuités totales d'amortissement,
- les dépenses totales d'exploitation
- les dépenses d'exploitation et d'amortissement hors génie civil,
- les dépenses totales d'exploitation et d'amortissement,
- les dépenses totales d'exploitation au voyageur-kilomètre,
- les dépenses totales d'exploitation et d'amortissement à la place-kilomètre offerte,

- les dépenses totales d'exploitation et d'amortissement au voyageur-kilomètre.

La sensibilité au taux d'actualisation peut se mesurer d'après le tableau "Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement au voyageur-kilomètre" calculées pour des taux de 6, 8 et 10 % (tableau n° A2-16).

Quant à l'influence des coûts de génie civil, elle ressort du tableau "Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement au voyageur-kilomètre", avec trois valeurs distinctes de ces coûts : hypothèse minimale, hypothèse maximale et valeur moyenne (Neuchâteau) (tableau n° A2-17).

D.2. - COMPARAISON DES TEMPS DE DEPLACEMENTS

La comparaison précédente est effectuée en termes de coûts économiques à qualité de service différente selon les modes : le nombre de passages aux arrêts, à trafic donné, est d'autant plus important que la capacité du véhicule de transport en commun est plus faible. Le niveau de service des autobus et des trolleybus est donc en fait théoriquement supérieur à celui des modèles articulés et des tramways, du moins tant que, pour ces derniers, les gains de temps réalisés sur les temps de trajet proprement dits ne compensent pas les pertes de temps dues à l'attente causée par de moins bonnes fréquences.

Le tableau A2-18 illustre partiellement ces différences de qualité de service : le temps d'attente moyen à un arrêt est supposé égal au 1/2 intervalle de passage, ce qui ne tient pas compte de l'affichage des horaires et des contraintes que l'on s'est imposé sur la régularité des passages, et ce qui pénalise donc les modes à grande capacité. Le temps de parcours moyen d'un usager se calcule sur la base d'un trajet de 5 km à bord du véhicule de transport collectif.

On notera qu'un facteur important de comparaison des niveaux de service est négligé faute de données précises : la régularité des passages aux arrêts ; le respect des horaires affichés au tableau de marche est cependant obtenu plus aisément pour les véhicules articulés ou les tramways, puisque les véhicules, plus espacés, se gênent moins ou ne se gênent pas entre eux en ligne et aux arrêts.

Trafic de

1.500
3.000
6.000
12.000

Trafic d

1.50
3.00
6.00
12.00

Trafic

1.5
3.0
6.0
12.0

Trafic

1.
3.
6.
12.

Trafic

1.
3.
6.
12.

Tableau n° A2-13 -

Annuités d'amortissement hors génie civil
(en millions de francs) (taux d'actualisation 8 %)

Trafic de pointe	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court		Tramway élément long	
					étroit	large	étroit	large
1.500 voy/h	5,21	5,15	6,32	5,97	8,48	8,20	8,76	8,43
3.000 voy/h	7,19	6,94	8,94	7,91	12,24	11,66	11,97	11,36
4.500 voy/h	12,15	10,96	15,30	12,27	19,72	18,56	19,00	17,76
12.000 voy/h	33,79	22,21	42,54	24,70	35,83	33,39	33,06	30,58

Annuités totales d'amortissement
(en millions de francs) (taux d'actualisation 8 % - Hypothèse Neuchâteau pour le Génie civil)

Trafic de pointe	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court		Tramway élément long	
					étroit	large	étroit	large
1.500 voy/h	17,49	17,43	18,60	18,25	19,18	19,50	19,40	19,73
3.000 voy/h	19,47	19,22	21,22	20,19	22,94	22,96	22,67	22,66
4.500 voy/h	24,43	23,24	27,58	24,55	30,42	29,86	29,70	28,06
12.000 voy/h	46,07	34,49	54,82	36,98	46,53	44,69	43,76	41,86

Dépenses totales d'exploitation
(en millions de francs)

Trafic de pointe	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court		Tramway élément long	
					étroit	large	étroit	large
1.500 voy/h	8,86	7,23	8,91	7,25	6,40	6,40	6,86	6,86
3.000 voy/h	16,06	12,37	16,07	12,30	9,89	9,39	8,59	8,59
4.500 voy/h	34,22	23,73	34,14	23,51	16,08	16,08	14,22	14,22
12.000 voy/h	91,23	51,04	90,99	50,77	28,77	28,77	21,90	21,90

Tableau n° A2-14 - Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement hors Génie Civil
(en millions de francs) (taux d'actualisation 8 %)

Trafic de pointe	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court		Tramway élément long	
					étroit	large	étroit	large
1.500 voy/h	14,07	12,38	15,23	13,22	14,88	14,60	15,64	15,31
3.000 voy/h	23,25	19,31	25,02	20,21	22,13	21,55	20,56	19,95
4.500 voy/h	46,37	34,69	49,44	35,78	35,80	34,64	33,22	31,94
12.000 voy/h	125,02	73,25	133,53	75,47	64,60	62,16	57,96	55,44

Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement
(en millions de francs) (taux d'actualisation 8 % - Hypothèse Neuchâteau pour le Génie civil)

Trafic de pointe	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court		Tramway élément long	
					étroit	large	étroit	large
1.500 voy/h	26,35	24,66	27,51	25,50	25,58	25,90	26,34	26,61
3.000 voy/h	35,53	31,59	37,29	32,49	32,83	32,85	31,26	31,26
4.500 voy/h	58,65	46,97	61,72	48,06	46,50	45,94	43,92	43,28
12.000 voy/h	137,30	85,53	145,61	87,75	75,30	73,46	68,66	66,78

(en centimes)

Trafic de pointe	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court		Tramway élément long	
					étroit	large	étroit	large
1.500 voy/h	15,38	12,55	15,46	12,58	11,11	11,11	11,94	11,94
3.000 voy/h	13,94	10,73	13,94	10,67	8,58	8,58	7,45	7,45
6.000 voy/h	14,85	10,30	14,81	10,20	6,98	6,98	6,17	6,17
12.000 voy/h	19,79	11,07	19,74	11,01	6,24	6,24	5,40	5,40

Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement à la place-kilomètre offerte
(en centimes) (taux d'actualisation 8% - Hypothèse Neuchâteau pour le Génie civil)

Trafic de pointe	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court		Tramway élément long	
					étroit	large	étroit	large
1.500 voy/h	13,69	11,66	14,29	12,05	10,10	10,22	7,94	7,94
3.000 voy/h	9,95	8,43	10,44	8,67	8,12	8,12	7,56	7,56
6.000 voy/h	8,09	6,45	8,52	6,60	6,26	6,19	5,71	5,71
12.000 voy/h	9,56	5,93	10,15	6,08	5,13	5,00	4,63	4,63

Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement au voyageur-kilomètre
(en centimes) (taux d'actualisation 8% - Hypothèse Neuchâteau pour le Génie civil)

Trafic de pointe	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court		Tramway élément long	
					étroit	large	étroit	large
1.500 voy/h	45,73	42,80	47,74	44,26	44,39	44,95	45,71	46,27
3.000 voy/h	30,83	27,41	32,36	28,19	28,49	28,51	27,13	27,13
6.000 voy/h	25,45	20,38	26,78	20,85	20,17	19,93	19,06	18,89
12.000 voy/h	29,78	18,55	31,63	19,04	16,33	15,94	14,89	14,89

Tableau n° A2-16 -

Sensibilité au taux d'actualisation

Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement au voyageur x km
(en centimes) (hypothèse Neuchâteau pour le Génie civil)

Trafic de pointe	Taux d'actualisation	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court		Tramway élément long	
						étroit	large	étroit	large
1.500 voy/h	6 %	40,7	37,7	42,3	38,9	38,6	39,1	39,9	40,2
	8 %	45,7	42,8	47,7	44,3	44,4	45,0	45,7	46,2
	10 %	51,1	48,2	53,5	50,0	50,6	51,2	52,0	52,5
3.000 voy/h	6 %	28,1	24,7	29,4	25,3	25,1	25,1	23,7	23,7
	8 %	30,8	27,4	32,4	28,2	28,5	28,5	27,1	27,1
	10 %	33,7	30,3	35,6	31,3	32,2	32,2	30,7	30,7
6.000 voy/h	6 %	23,9	18,8	24,9	19,1	17,9	17,7	16,8	16,6
	8 %	25,5	20,4	26,8	20,9	20,2	19,9	19,1	18,8
	10 %	27,1	22,0	28,8	22,7	22,6	22,3	21,4	21,1
12.000 voy/h	6 %	28,4	17,4	29,8	17,7	14,6	14,3	13,3	12,9
	8 %	29,8	18,6	31,6	19,0	16,3	15,9	14,9	14,5
	10 %	31,3	19,7	33,5	20,4	18,2	17,7	16,6	16,1

Trafic de pointe voy/h	Hypothèse de coût de génie civil	Autobus	Autobus articulé	Trolleybus	Trolleybus articulé	Tramway élément court		Tramway élément long	
						étroit	large	étroit	large
1.500	Dépenses minimales (1)	37,7	34,8	39,7	36,2	37,4	37,5	38,7	38,8
	Dépenses Neuchâteau (2)	45,7	42,8	47,7	44,3	44,4	45,0	45,7	46,2
	Dépenses maximales (3)	64,2	61,3	66,2	62,8	60,5	61,9	61,8	63,2
3.000	Dépenses minimales (1)	26,8	23,4	28,3	24,2	25,0	24,8	23,6	23,4
	Dépenses Neuchâteau (2)	30,8	27,4	32,4	28,2	28,5	28,5	27,1	27,1
	Dépenses maximales (3)	40,1	36,7	41,6	37,4	36,5	37,0	35,2	35,6
6.000	Dépenses minimales (1)	23,4	18,4	24,8	18,8	18,4	18,1	17,3	16,9
	Dépenses Neuchâteau (2)	25,5	20,4	26,8	20,9	20,2	19,9	19,1	18,8
	Dépenses maximales (3)	30,1	25,00	31,4	25,5	24,2	24,2	23,1	23,0
12.000	Dépenses minimales (1)	28,8	17,6	30,6	18,	15,5	15,0	14,0	13,6
	Dépenses Neuchâteau (2)	29,8	18,6	31,6	19,0	16,3	15,9	14,9	14,5
	Dépenses maximales (3)	32,1	20,9	33,9	21,4	18,3	18,1	16,9	16,6

(1) coût du Génie civil au km

5 MF

(2) " " " " "

8,03 MF

emprise 5,40 m

(3) " " " " "

15,00 MF

Tableau n° A2-18 -

- comparaison des temps de déplacements -
Intervalle de passage des véhicules aux arrêts
en période de pointe et pendant la période la moins chargée (en minute)

Trafic de pointe sur le tronçon le plus chargé	Intervalle de passage	Autobus et trolleybus	Autobus et trolley- bus articulés	Tramway élément court	Tramway élément long
1.500 voy/h	en pointe de nuit	2,32 10,00	3,85 10,00	6,00 10,00	7,50 10,00
3.000 voy/h	en pointe de nuit	1,16 10,00	1,92 10,00	2,88 10,00	4,00 10,00
6.000 voy/h	en pointe de nuit	0,58 4,00	0,96 7,50	2,88 10,00	4,00 10,00
12.000 voy/h	en pointe de nuit	0,29 2,23	0,48 4,00	1,44 6,00	2,04 7,50

Durée moyenne de déplacement d'un usager : temps d'attente et temps de trajet
(moyennes sur toute la durée du service - en minutes)

Trafic de pointe sur le tronçon le plus chargé	Autobus et trolleybus			Autobus et trolleybus artic.			Tramway élément court			Tramway élément long		
	temps d'at- tente moyen	temps de trajet moyen	durée moyenne du déplacement (attente + trajet)	temps d'at- tente moyen	temps de trajet moyen	durée moyenne du déplacement (attente + trajet)	temps d'at- tente moyen	temps de trajet moyen	durée moyenne du déplacement (attente + trajet)	temps d'at- tente moyen	temps de trajet moyen	durée moyenne du déplacement (attente + trajet)
1.500 voy/h	2,10	12,00	14,10	3,20	12,00	15,20	4,07	12,00	16,07	4,42	12,00	16,42
3.000 voy/h	1,13	12,57	13,74	1,82	12,07	13,89	2,52	12,00	14,52	3,60	12,00	15,60
6.000 voy/h	0,58	14,50	15,08	0,96	12,91	13,87	1,71	12,00	13,71	2,34	12,00	14,34
12.000 voy/h	0,29	22,87	23,16	0,48	15,50	16,00	0,27	12,88	13,15	0,82	12,88	13,70

ANNEXE 3 - COMPARAISON D'UNE SOLUTION TRAMWAY EN SITE PROPRE AU SOL AVEC UNE SOLUTION AUTOBUS OU AUTOBUS ARTICULE SUR COULOIR RESERVE

Cette annexe a pour but d'étudier les mérites respectifs de la mise en site propre d'une ligne de transport en commun, avec exploitation par tramway, et de la création de couloirs réservés sur cette ligne, avec utilisation d'autobus standards (72 places) ou d'autobus articulés (120 places).

Les comparaisons s'effectuent sur une ligne de 15 kilomètres traversant un centre-ville et ayant des prolongements en périphéries pour des valeurs du trafic de pointe sur le tronçon le plus chargé de 1500, 3000 et 6000 voyageurs à l'heure dans le cas de l'autobus, 3000 et 6000 voyageurs à l'heure dans le cas de l'autobus articulé.

Toutes les hypothèses de base, et les dépenses mises en jeu dans les solutions tramways en site propre, sont présentées à l'annexe 2.

Ces données sont rappelées brièvement à chaque paragraphe. Les solutions autobus sur couloir réservé diffèrent des solutions site propre essentiellement par les coûts de génie civil, les dépenses d'équipements et le niveau du service offert aux usagers.

A - DEMANDE ET OFFRE DE TRANSPORT

Les quatre périodes d'exploitation sont les suivantes :

	HORAIRES DE CHAQUE PERIODE	DUREE (en heures)	POURCENTAGE DU TRAFIC JOURNALIER ACHEMINE
Période A	6 h - 8 h et 16 h - 19 h	5	46,7 %
Période B	8 h - 9 h et 12 h - 16 h	5	28,7 %
Période C	5 h - 6 h, 9 h - 12 h et 19 h - 21 h	6	20,0 %
Période D	4 h - 5 h et 21 h - 1 h	5	4,6 %

Les vitesses commerciales sur couloir réservé retenues pour chaque niveau de trafic sont des estimations de ce qu'il serait possible d'obtenir dans des pôles régionales sur des lignes bien équipées, où circuleraient des autobus de dispositifs de commande de feux, et en supposant une gêne minimale de la part des voitures particulières en circulation et en stationnement. (Itinéraires à priorité protégés par des panneaux indicateurs, stops ou triangles).

Ces vitesses commerciales sont les suivantes, en kilomètre/heure :

Tableau A3-1 : Vitesses commerciales par période

TRAFFIC DE POINTE	PÉRIODE	AUTOBUS SUR COULOIR RESERVE	AUTOBUS ARTICULE SUR COULOIR RESERVE	TRAMWAY EN SITE PROPRE
1500 voy/h.	A	16,5	-	25
	B	17,5	-	25
	C	18,5	-	25
	D	19,5	-	25
	Moyenne sur la durée du service	18,0	-	25
3000 voy/h.	A	14,5	15	25
	B	16,5	16	25
	C	17,5	17	25
	D	18,5	18	25
	Moyenne sur la durée du service	16,8	16,5	25
6000 voy/h.	A	11,5	13	25
	B	14,5	15	25
	C	16,5	16	25
	D	17,5	17	25
	Moyenne sur la durée du service	15,0	15,3	25

Les hypothèses faites sur les intervalles de passage et les temps de battement sont les mêmes qu'à l'annexe n° 2.

- intervalle maximal de 10 minutes entre deux véhicules successifs et égal à 4 mn, 6 mn ou 7,5 minutes dans les autres cas où le nombre de passages théorique à l'heure la plus chargée de chaque période est inférieur ou égal à 15 ;

Tableau A3 - 2 - Récapitulatif des données de trafic dans les solutions
sur couloir réservé

	Autobus sur couloir réservé				Autobus articulé sur couloir réservé	
	1500voyageurs/h	3000 voyageurs/h	6000 voyageurs/h	3000voyageurs/h	6000voyageurs	
Niveau de trafic de pointe						
Nombre de passages par période	A B C D	25,9 15 8 6	51,7 26,5 17,2 6	103,5 53,0 34,5 15	31,3 16,0 10 6	62,5 32,0 20,8 8
Nombre de véhicules en service par période	A B C D	52 29 15 11	118 53 32 11	295 121 69 29	69 33 20 11	158 70 43 16
Nombre de véhicules kilomètres annuel (en millions)		2,74	4,97	10,10	3,11	6,04
Nombre de véhicules au parc		59	133	333	78	179
Nombre d'heures de conduite (en milliers)		173,25	347,13	831,29	215,78	465,57
Kilométrage annuel par véhicule au parc		46,500	37 300	30 300	39 900	33 700
Rapport du nombre de véhicules-kilomètres journalier au nombre de véhicules-kilomètres à l'heure de pointe		11,1	10,1	10,3	10,5	10,2
Taux d'occupation moyen sur le tronçon le plus chargé		0,58	0,65	0,63	0,62	0,64

- temps de battement égaux à 8% de la durée du tour, plus 2 minutes,

La réserve d'ateliers est de 13% du nombre de véhicules en service à l'heure pointe pour les autobus, et de 10 % pour les tramways.

Le taux d'occupation aux heures les plus chargées de chaque période représente 80 % de la capacité des véhicules. La répartition du trafic journalier est celle détaillée à l'annexe n° 2. Le trafic annuel est 315 fois le trafic journalier et l'offre annuelle se déduit de l'offre journalière en la multipliant par ce même coefficient.

Le tableau A3.2 résume les données de trafic qui découlent de ces hypothèses et les solutions sur couloir réservé. Pour les tramways en site propre, les résultats figurent en tableau A2.4 de l'annexe n° 2.

B - DEPENSES D'INVESTISSEMENT ET ANNUITES D'AMORTISSEMENT

Les prix de base sont donnés frais généraux et à valoir d'imprévus inclus, mais taxes exclues, aux conditions économiques du 1er janvier 1975.

Si les dépenses d'équipements sont connues avec une relative précision, il n'est pas possible de chiffrer avec exactitude les dépenses de génie civil et d'aménagements de chaussées nécessaires pour assurer aux autobus, sur couloir réservé, les vitesses commerciales indiquées au paragraphe précédent (tableau A3.1).

Avec des coûts de génie civil nuls, ce qui entraîne la création de "rails" par déformation de la chaussée sur les couloirs très fréquentés, et en réduisant les aménagements à la matérialisation du couloir, à la signalisation pour les véhicules et les piétons, et à l'adaptation des feux pour les couloirs à contresens, les dépenses d'investissement hors équipements s'élevaient à PARIS en 1971 de 21 500 F au kilomètre de ligne dans le sens de la circulation à 332 250 F en plus au kilomètre de ligne pour un couloir à contresens implanté sur le boulevard Saint-Germain entre la rue du Bac et la Chambre des Députés. A MARSEILLE à la même date les dépenses extrêmes étaient de 15 000 F et 21 000 F au kilomètre de ligne. Mais le Conseil de Paris a voté des crédits de 8 millions de francs pour la création de 15 kilomètres de couloirs réservés au début de 1975.

Ainsi, si l'on peut supposer que les dépenses minimales d'aménagement de chaussées dans une métropole de province varient au kilomètre de ligne entre 25 000 F dans le sens de la circulation et 200 000 F pour un couloir à contresens, il est apparu plus réaliste, par mauvaise connaissance des coûts de génie civil, de paramétrer dans la suite de la comparaison les dépenses totales d'investissement hors équipements dans les solutions sur couloir réservé.

Par analogie, les coûts de génie civil ont été également paramétrés pour les solutions tramways en site propre : la comparaison entre les deux solutions, site propre et couloir réservé, s'appuiera sur la différence des dépenses de gros oeuvre.

Quant aux dépenses d'équipements, elles sont précisées pour tous les modes de transport à l'annexe n° 2, sauf pour les installations de priorité aux feux. Ces dernières atteignent 30 000 F par carrefour avec une distance moyenne entre deux carrefours de 400 m sur l'ensemble de la ligne, 200 000 F sont prévus en outre pour l'aménagement des feux dans les carrefours complexes du centre, et 1 000 F sont requis par autobus pour l'installation à bord du véhicule, du dispositif de commande des feux.

Rappelons les hypothèses de base des autres dépenses d'équipements pour les véhicules sur couloir réservé :

- équipements électromagnétiques - distributeurs - oblitérateurs (durée de vie 15 ans) : 1,5 millions de francs pour 15 kilomètres de ligne ;
- dépôts et ateliers : 85 000 F par emplacement pour un autobus et 140 000 F pour un autobus articulé (durée de vie des dépôts et ateliers : 30 ans) ;
- équipements fixes de radiotéléphonie (station fixe et aérienne du poste fixe. Poste central de régulation - Relais) : 0,3 millions de francs amortis en 15 ans ;
- matériel roulant : 240 000 F pour l'achat d'un autobus, et 450 000 F pour celui d'un autobus articulé. La durée de vie du matériel est variable avec le kilométrage annuel parcouru par véhicule au parc.

Pour le calcul des annuités d'amortissement, le taux retenu est de 8 %, et les équipements sont amortis sur la durée de vie.

Le montant total des investissements, et les annuités d'amortissement sont récapitulés aux tableaux A3 - 3 et A3 - 4.

C - DEPENSES D'EXPLOITATION

Les prix de base sont donnés aux conditions économiques du 1er janvier 1975.

C1 - Prix unitaires

Les prix unitaires pour les autobus et autobus articulés sur couloirs réservés sont identiques à ceux donnés dans l'annexe n° 2 pour les mêmes modes en site propre, sauf pour les coûts d'entretien des installations fixes : la part fixe des dépenses d'entretien de la voie n'est que de 105 000 F pour l'ensemble de la ligne au lieu de 150 000 F (ouvrages moins nombreux, absence de tunnels et viaducs et nettoyage de la piste plus aisé), le coût annuel d'entretien d'un arrêt d'autobus sur couloir réservé est estimé à 2 000 F au lieu de 8 500 F, et le coût d'entretien des installations de sécurité (radiotéléphone) à 50 000 F (180 000 F dans la solution site propre, avec des installations plus sophistiquées).

Autobus standard : 72 places

Tableau A3 - 3 - MONTANT TOTAL DES INVESTISSEMENTS

Tramway court : 180 places

articulé : 120 places

(en millions de francs)

long : 255 places

Trafic de pointe	Investissements	Autobus sur couloir réservé	Autobus articulé sur couloir réservé	Tramway court sur site propre	Tramway long sur site propre
1500 voyageurs/h	Génie civil <u>Durée de vie :</u> 30 ans	A 1500	-	(tramway étroit) TC 1500	(tramway étroit) TL 1500
	Equipements <u>Durée de vie :</u> 30 ans	5,02	-	39,00	39,00
	<u>Durée de vie :</u> 15 ans	3,18 + A' 1500 (aménagement de chaussée) 14,18	-	16,50	16,50
	Matériel roulant (Durée de vie)	(10,5 ans)	-	33,00	36,00
	TOTAL	22,36 + A 1500 + A' 1500	-	(25 ans) 88,50 + TC 1500	(25 ans) 91,50 + TL 1500
3000 voyageurs/h	Génie civil <u>Durée de vie :</u> 30 ans	A 3000	AA 3000	TC 3000	TL 3000
	Equipements <u>Durée de vie :</u> 30 ans	11,31	10,92	44,20	43,50
	<u>Durée de vie :</u> 15 ans	3,26 + A' 3000	3,20 + AA' 3000	16,50	16,50
	Matériel roulant (Durée de vie)	31,92 (11,5 ans)	35,10 (14,5 ans)	62,00 (25 ans)	59,50 (25 ans)
	TOTAL	46,49 + A 3000 + A' 3000	49,22 + AA 3000 + AA' 3000	122,70 + TC 3000	119,40 + TL 3000

Trafic de pointe	Investissements	Autobus sur couloir réservé	Autobus articulé sur couloir réservé	Tramway court sur site propre	Tramway long sur site propre
6000 voyageurs/h	Génie civil <u>Durée de vie :</u> 30 ans	A 6000	AA 6000	TC 6000	TL 6000
	Equipements <u>Durée de vie :</u> 30 ans	28,31	25,06	56,40	53,00
	Durée de vie : 15 ans	3,46 + A' 6000	3,31 + AA' 6000	16,50	16,50
	Matériel roulant <u>(durée de vie)</u>	72,92 (12,5 ans)	80,55 (15 ans)	124,00 (25 ans)	118,80 (25 ans)
	TOTAL	111,69 + A 6000 + A' 6000	108,92 + AA 6000 + AA' 6000	196,90 + TC 6000	188,30 + TL 6000

Tableau A3 - 4
(cf tableau A3-3)

ANNUITES TOTALES D'INVESTISSEMENT
(en millions de francs)

Taux d'amortissement 8 % sur la durée de vie

Trafic de pointe	Amortissements	Autobus sur couloir réservé	Autobus articulé sur couloir réservé	Tramway court sur site propre	Tramway long sur site propre
1500 voyageurs/h	Génie civil	0,0888 A 1500	-	(tramway étroit) 0,0888 TC 1500	(tramway étroit) 0,0888 TL 1500
	Equipements	0,82 + 0,1168 A, 1500	-	5,39	5,39
	Matériel roulant	2,05	-	3,09	3,37
	TOTAL	2,87 + 0,0888 A 1500 + 0,1168 A, 1500	-	8,48 + 0,0888 TC 1500	9,76 + 0,0888 TL 1500
3000 voyageurs/h	Génie civil	0,0888 A 3000	0,0888 AA 3000	(tramway large) 0,0888 TC 3000	(tramway large) 0,0888 TL 3000
	Equipements	1,38 + 0,1168 A, 3000	1,34 + 0,1168 AA, 3000	5,85	5,79
	Matériel roulant	4,35	4,18	5,81	5,57
	TOTAL	5,73 + 0,0888 A 3000 + 0,1168 A, 3000	5,52 + 0,0888 AA 3000 + 0,1168 AA, 3000	11,66 + 0,0888 TC 3000	11,36 + 0,0888 TL 3000
	Génie civil	0,0888 A 6000	0,0888 AA 6000	(tramway large) 0,0888 TC 6000	(tramway large) 0,0888 TL 6000
	Equipements	2,91 + 0,1168 A, 3000	2,62 + 0,1168 AA, 6 000	6,94	6,64
	Matériel roulant	10,36	9,41	11,62	11,13
	TOTAL	13,27 + 0,0888 A 6000 + 0,1168 A, 6000	12,03 + 0,0888 AA 6000 + 0,1168 AA, 6000	18,56 + 0,0888 TC 6000	17,76 + 0,0888 TL 6000

Rappelons brièvement des hypothèses de base nécessaires au calcul des dépenses annuelles d'exploitation pour les véhicules sur couloir réservé. Ce qui recouvre ces dépenses est détaillé à l'annexe n° 2, compte tenu des remarques ci-dessus.

C1.1 Coût de l'heure de conduite

Le coût de l'heure de conduite (salaires, charges, congés, maladies et encadrement compris) est de 28 F pour l'autobus standard et 29,1 F pour l'autobus articulé.

C1.2 - Assurances au tiers

A la voiture kilomètre, ces dépenses atteignent 0,148 F pour l'autobus, et 0,194 F pour l'autobus articulé.

C1.3 - Energie de traction

L'autobus consomme 35,5 l de gazole aux 100 km, et l'autobus articulé 53 l, pour un prix du litre de 1,15 F.

C1.4 - Energie hors traction

Les appareils électromécaniques consomment 30 000 kwh à 40 centimes du kwh dans les deux solutions.

C1.5 - Coût d'entretien du matériel roulant

La part fixe est par véhicule au parc de 12 000 F pour l'autobus et 15 000 F pour l'autobus articulé, la part proportionnelle au trafic est successivement de 70 centimes et 95 centimes au véhicule-kilomètre.

C1.6 - Coût d'entretien des installations fixes

- Pour la voie, la part fixe atteint 105 000 F, et la part proportionnelle au trafic, par véhicule-kilomètre, 2,4 centimes dans le cas de l'autobus 3,6 centimes dans le cas de l'autobus articulé,
- Un arrêt coûte en entretien 2 000 F par an, les installations électromécaniques 50 000 F, les installations de radiotéléphonie 50 000 F.

C1.7 - Dépenses de perception liées au trafic

2,80 F pour 1000 voyageurs transportés.

C1.8 - Remise en état du matériel accidenté

0,04 F par voiture-kilomètre pour l'autobus, 0,052 F par voiture-kilomètre pour l'autobus articulé.

C1.9 - Frais de direction et d'administration

10 % des dépenses du personnel d'exploitation et d'entretien. (La clé de répartition main-d'oeuvre - matières par type de dépense est donnée à l'annexe 2, §C1.9).

C2 - Dépenses totales d'exploitation

Ces dépenses sont présentées au tableau A3 - 5 pour tous les modes engagés dans la comparaison. Dans le cas du tramway, le détail des dépenses par poste figure in extenso à l'annexe n° 2.

Tableau A3 - 5 - DEPENSES ANNUELLES D'EXPLOITATION
(en millions de francs)

	Trafic de pointe 1500 voy/heure				Trafic de pointe 3000 voyageurs/heure				Trafic de pointe 6000 voyageurs/heure			
	Tramway en site prop.		Autobus sur couloir réservé	72 places	Autobus sur couloir réservé	Tramway en site prop.		Autobus articulé sur couloir réservé	72 places	Autobus sur couloir réservé	Tramway en site prop.	
	court étroit	long étroit				court large	long large				court large	long large
	180 places	255 places			120 places	180 places	255 places			120 places	180 places	255 places
Personnel de conduite et encadrement	4,85	1,90	1,86	9,72	6,30	3,04	2,32	13,59	23,28	4,23	3,	
Dépenses d'assurances au tiers	0,41	0,25	0,42	0,74	0,60	0,56	0,52	1,17	1,49	1,04	0,	
Energie de traction	1,12	1,13	1,30	2,03	1,90	1,80	1,62	3,68	4,12	3,30	3,	
Energie hors traction	0,01	0,11	0,11	0,01	0,01	0,11	0,11	0,01	0,01	0,11	0,	
Entretien du matériel roulant	2,63	1,27	1,80	5,07	4,13	2,64	2,41	8,42	11,06	4,95	4,	
Entretien des installations fixes	0,32	0,21	0,83	0,37	0,37	0,89	0,87	0,47	0,50	1,08	1,	
Dépenses de perception liées au trafic	0,03	0,03	0,03	0,07	0,07	0,07	0,07	0,13	0,13	0,13	0,	
Remise en état du matériel accidenté	0,11	0,10	0,11	0,20	0,16	0,16	0,14	0,31	0,40	0,28	0,	
Frais de direction et d'administration	0,72	0,40	0,42	1,40	1,00	0,62	0,53	2,06	3,24	0,96	0,	
T O T A L	10,20	6,40	6,88	19,61	14,54	9,39	8,59	44,23	29,84	16,36	34	

1500

3000

6000

D - COMPARAISON ENTRE LES MODES

D1 - Tableau récapitulatif des dépenses totales annuelles

Le tableau A3 - 6 résume les données de trafic :

trafic de pointe		Autobus sur couloir réservé	Autobus articulé sur couloir réservé	Tramway court en site propre	Tramway long en site propre
500 voy/heure	Trafic annuel (en millions de voyageurs/km)	57,62	57,62	57,62	57,62
	Nombre de places-kilomètres offertes (en millions)	197,32	-	253,38	331,77
1000 voy/heure	Trafic annuel (en millions de voy/km)	115,25	115,25	115,25	115,25
	Nombre de places-kilomètres offertes (en millions)	357,60	373,46	404,39	413,35
1500 voy/heure	Trafic annuel (en millions de voy/km)	230,49	230,49	230,49	230,49
	Nombre de places-kilomètres offertes (en millions)	726,84	724,62	742,24	768,68

Les tableaux A3 - 4, A3 - 5, et A3 - 6 sont tirés des résultats globaux du tableau A3 - 7, qui font intervenir des coûts paramétrés de génie civil pour tous les modes, et d'aménagements des chaussées pour les solutions sur couloir réservé. (Le coût total de génie civil sur l'ensemble de la ligne, en millions de francs, est souligné).

D2 - Analyse des résultats

A un niveau de trafic donné, quel que soit ce niveau de trafic dans les limites de la comparaison, les coûts de génie civil d'une solution "site propre" excèdent considérablement les coûts de génie civil et d'aménagement de chaussée d'une solution "couloir réservé".

Tableau A3 - 7

Trafic de pointe	Dépenses totales annuelles	Autobus sur couloir réservé	Autobus articulé sur couloir réservé	Tramway court en site propre	Tramway long en site propre
1500 voyageurs/h	Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement (en millions de francs)	13,07 + 0,1168 A' 1500 + 0,0888 A 1500	-	(tramway étroit) 14,88 + 0,0888 TC 1500	(tramway étroit) 16,64 + 0,0888 TL 1500
	Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement à la place-kilomètre offerte (en centimes)	6,6 + 0,0592 A' 1500 + 0,0450 A 1500	-	5,9 + 0,0350 TC 1500	5,0 + 0,0268 TL 1500
	Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement au voyageur-kilomètre (en centimes)	22,7 + 0,2027 A' 1500 + 0,1541 A 1500	-	25,8 + 0,1541 TC 1500	28,9 + 0,1541 TL 1500
3000 voyageurs/h	Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement (en million de francs)	25,34 + 0,1168 A' 3000 + 0,0888 A 3000	20,06 + 0,1168 AA' 3000 + 0,0888 AA 3000	(tramway large) 21,55 + 0,0888 TC 3000	(tramway large) 19,95 + 0,0888 TL 3000
	Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement à la place-kilomètre offerte (en centimes)	7,1 + 0,0327 A' 3000 + 0,0248 A 3000	5,4 + 0,0313 AA' 3000 + 0,0238 AA 3000	5,3 + 0,0220 TC 3000	4,8 + 0,0215 TL 3000
	Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement au voyageur-kilomètre (en centimes)	22,0 + 0,1013 A' 3000 + 0,0770 A 3000	17,4 + 0,1013 AA' 3000 + 0,0770 AA 3000	18,7 + 0,0770 TC 3000	17,3 + 0,0770 TL 3000
6000 voyageurs/h	Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement (en millions de francs)	57,50 + 0,1168 A' 6000 + 0,0888 A 6000	41,87 + 0,1168 AA' 6000 + 0,0888 AA 6000	(tramway large) 34,64 + 0,0888 TC 6000	(tramway large) 31,98 + 0,0888 TL 6000
	Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement à la place-kilomètre offerte (en centimes)	7,9 + 0,0161 A' 6000 + 0,0122 A 6000	5,8 + 0,0161 AA' 6000 + 0,0123 AA 6000	4,7 + 0,0120 TC 6000	4,2 + 0,0116 TL 6000
	Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement au voyageur-kilomètre (en centimes)	24,9 + 0,0507 A' 6000 + 0,0385 A 6000	18,2 + 0,0507 AA' 6000 + 0,0385 AA 6000	15,0 + 0,0385 TC 6000	13,9 + 0,0385 TL 6000

13,9 + 0,0385
TC 6000
AA 6000

Il est donc certain a priori que les dépenses totales engagées dans un système autobus sur couloir réservé seront, pour un niveau de trafic de 1500 voyageurs-heure de pointe, notablement inférieures à celles d'un système tramway en site propre, compte tenu des hypothèses faites sur les vitesses commerciales de chacun des modes.

Lorsque le niveau du trafic de pointe atteint 3000 voyageurs/heure, les ~~dépenses totales annuelles hors génie civil et aménagements de couloir~~ réservés sont, dans les solutions tramway élément court ou élément long en site propre, respectivement inférieures de 3,79 et 5,39 millions de francs à celles mises en jeu dans une solution autobus standard en site propre.

Pour une ligne de 15 kilomètres de longueur, cela signifie que l'écart entre les dépenses de génie civil pour le tramway en site propre et les ~~dépenses de gros œuvre dans la solution autobus sur couloir réservé~~ doit dépasser, par kilomètre de ligne, 2,8 millions de francs dans le cas du tramway court, et 4,0 millions de francs dans le cas du tramway long pour que l'autobus constitue une solution moins onéreuse que le tramway : comme le minimum des dépenses de génie civil au kilomètre de ligne est de 5 millions de francs pour un tramway en site propre, et que les dépenses de génie civil et d'aménagement de chaussée sont sans doute inférieures à 1 million de francs par kilomètre de ligne pour la création d'un couloir réservé (1), cette condition est réalisée dans la plupart des cas pour ce niveau de trafic, à moins que le tramway ne soit construit en site propre partiel que sur certains tronçons de ligne.

En règle générale, donc, pour ce niveau de trafic de 3000 voyageurs à l'heure de pointe, l'exploitation de l'autobus sur couloir réservé représenterait une solution moins onéreuse que la solution tramway, à nombre de voyageurs transportés égal : encore faut-il que l'on puisse assurer d'excellentes conditions de fonctionnement aux couloirs réservés sans investissements lourds.

En revanche, pour un trafic de pointe de 6000 voyageurs à l'heure de pointe, les conclusions précédentes sont inversées : l'investissement consacré au génie civil du site propre n'excédera jamais, sur une ligne donnée, de 17,2 ou 19,2 millions de francs par kilomètre de ligne selon que le tramway est formé d'éléments courts ou longs, l'investissement qui s'attache à la création d'un couloir réservé exploité avec des autobus standards.

Seul l'autobus articulé pourrait prétendre concurrencer le tramway sur le plan des dépenses d'exploitation et d'amortissement pour des flux de voyageurs à l'heure de pointe de 6000 voyageurs : il faudrait pour cela que le génie civil du tramway en site propre de 180 places coûte au kilomètre de ligne 5,4 millions de francs de plus que le génie civil et l'aménagement du couloir réservé aux autobus articulés, cette somme étant portée à 7,4 millions de francs pour le tramway à 255 places.

(1) Sachant que ce couloir doit permettre de tenir les vitesses commerciales annoncées.

D3 - Comparaison des temps de déplacements

Outre les dépenses engagées, le niveau de service offert aux usagers est un indicateur indispensable à la comparaison entre les modes de transport.

Ce niveau de service se traduit de trois façons différentes : par la durée du trajet, par le temps d'attente et par la régularité de passage des véhicules.

La durée du déplacement, attente et trajet, figure au tableau A3 - 8.

Le temps d'attente moyen y est égal au $1/2$ intervalle de passage.

Ce temps d'attente est toujours inférieur dans le cas de l'autobus, mais la durée totale du déplacement est nettement plus importante en autobus qu'en tramway pour tous les niveaux de trafic.

Rappelons également que les vitesses commerciales retenues sur couloir réservé sont relativement optimistes, et qu'il n'en est pas de même dans le cas du tramway.

Enfin la régularité de passage est très différente dans les deux types de solutions, et naturellement bien moins bonne pour les systèmes sur couloir réservé.

Le choix du tramway en site propre semble donc se justifier, si l'on s'en tient strictement à la comparaison des dépenses engagées et des temps de déplacements, aux environs de 3000 voyageurs à l'heure de pointe lorsqu'on ne peut lui opposer qu'un système efficace de couloir réservé exploité avec des autobus standards, et entre 4000 et 6000 voyageurs à l'heure de pointe lorsque des autobus articulés remplacent les autobus standards, sachant que la sensibilité de ces résultats à la vitesse commerciale est importante et que le tramway serait apparu comme plus intéressant pour des trafics inférieurs de 1000 à 1500 voyageurs à l'heure de pointe à ceux cités précédemment si les vitesses sur couloir réservé retenues dans la comparaison avaient été celles mesurées actuellement dans les métropoles régionales, où ces couloirs sont bien respectés.

On notera cependant que la régularité de passage est très différente dans les deux types de solution et naturellement bien moins bonne pour les systèmes sur couloir réservé.

INTERVALLE DE PASSAGE DES VEHICULES AUX ARRETS

EN PERIODE DE POINTE ET PENDANT LA PERIODE LA MOINS CHARGEE (en minutes)

Trafic de pointe sur le tronçon le plus chargé	Intervalle de passage	Autobus sur couloir réservé	Autobus articulé sur couloir réservé	Tramway court en site propre	Tramway long en site propre
1500 voy/heure	en pointe de nuit	2,32 10,00	3,85 10,00	6,00 10,00	7,50 10,00
3000 voy/heure	en pointe de nuit	1,16 10,00	1,92 10,00	2,88 10,00	4,00 10,00
6000 voy/heure	en pointe de nuit	0,58 4,00	0,96 7,50	2,88 10,00	4,00 10,00

DUREE MOYENNE DE DEPLACEMENT D'UN USAGER : TEMPS D'ATTENTE ET TEMPS DE TRAJET

(MOYENNES SUR TOUTE LA DUREE DU SERVICE : EN MINUTES)

Trafic de pointe sur le tronçon le plus chargé	Autobus sur couloir réservé			Autobus articulé sur couloir réservé			Tramway court en site pro- pre (180 places)			Tramway long en site propre (255 places)		
	temps d'at- tente moyen	temps de trajet moyen	Durée moyenne du déplacement (attente + trajet)	temps d'at- tente moyen	temps de trajet moyen	Durée moyenne du déplacement (attente + trajet)	temps d'at- tente moyen	temps de trajet moyen	Durée moyenne du déplacement (attente + trajet)	temps d'at- tente moyen	temps de trajet moyen	Durée moyenne du déplacement (attente + trajet)
1500 voy/heure	2,10	17,37	19,47	-	-	-	4,07	12,00	16,07	4,42	12,00	16,42
3000 voy/heure	1,17	19,06	20,23	1,82	19,02	20,84	2,52	12,00	14,52	3,60	12,00	15,60
6000 voy/heure	0,56	22,54	23,10	0,96	21,05	22,01	1,71	12,00	13,71	2,34	12,00	14,34

ANNEXE 4 - UTILISATION DES TRAMWAYS EN SITE PROPRE SUR VOIRIE POUR DES TRAFIC ELEVES

Pour des valeurs élevées des trafics de pointe, la gamme des matériels classiques de transport en commun dont l'exploitation est envisageable est peu étendue. Afin de situer le tramway par rapport à des systèmes à infrastructures plus lourdes, il est effectué dans la présente annexe, une comparaison économique succincte entre le tramway large élément long en site propre sur voirie et le métro en souterrain pour une valeur du trafic de pointe de 12 000 voyageurs/heure et sur une ligne de 15 km traversant un centre ville et ayant des prolongements en périphérie.

La solution tramway a été étudiée de façon détaillée à l'annexe n° 2.

Pour la solution métro, les données de base qui sont très brièvement indiquées à chaque paragraphe sont tirées des coûts retenus dans les études des métros de Lyon et de Marseille.

Tous les prix s'entendent frais généraux et à valoir d'imprévus inclus, mais taxes exclues en général, et sont évaluées aux conditions économiques du 1er janvier 1975.

A - DEMANDE ET OFFRE DE TRANSPORT

Présentées à l'annexe n° 2, les périodes d'exploitation sont dans la journée au nombre de quatre :

	Horaires de chaque période	Durée (en heure)	pourcentage du trafic journalier acheminé
Période A	6h-8h et 16h-19h	5	46,7 %
Période B	8h-9h et 12h-16h	5	28,7 %
Période C	5h-6h, 9h-12h et 19h-21h	6	20,5 %
Période D	4h-5h et 21h-1h	5	4,6 %

Pendant toute la durée du service, la vitesse commerciale du métro est prise égale à 32 km/heure.

Les véhicules du métro utilisés sont des motrices ou des remorques de 140 places, accouplées en élément simple motrice-remorque ou en deux éléments simples (capacité d'un élément : 280 places).

Les hypothèses faites sur les intervalles de passage et les temps de battement sont les mêmes qu'à l'annexe n° 2 :

- . intervalle maximal de 10 minutes entre deux rames, et égal à 4 mn, 6mn ou 7,5 minutes dans les autres cas où le nombre de passages théoriques à l'heure la plus chargée de chaque période est inférieur ou égal à 15 ;
- . temps de battement égaux à 8 % de la durée du tour, plus 2 minutes.

La réserve d'ateliers est de 10 % du nombre de véhicules en exploitation en pointe.

Le nombre de passages théoriques pendant les différentes périodes est calculé pour un taux d'occupation moyen de 80 % à l'heure la plus chargée de chaque période, ce qui correspond à 225 places par élément.

Périodes	Nombre de passages théoriques de rames simples	Nombre de passages théoriques de rames doubles
A	53,33	26,67
B	27,32	13,66
C	17,78	8,89
D	6,94	3,47

Avec les hypothèses ci-dessus sur les intervalles de passage, le type d'exploitation retenu, différent du schéma adopté pour le tramway (cf annexe n° 2), est le moins coûteux pour l'entreprise de transport :

Période	Nombre de passages de rames à l'heure	Composition des rames
A	26,67	2 éléments
B	même nombre qu'en période A	1 élément
C	17,78	1 élément
D	8	1 élément

De ce schéma se déduisent les données de trafic.

	Période	Métro	Tramway large élément long
Vitesse commerciale à l'heure la plus chargée par période (en km/h)	A	32	24,65
	B	32	25
	C	32	25
	D	32	25
Nombre de véhicules en service par période	A	28 rames à 2 éléments	40 éléments doubles
	B	28 rames à 1 élément	20 éléments doubles
	C	19 rames à 1 élément	14 éléments doubles
	D	9 rames à 1 élément	11 éléments simples
Nombre d'éléments-kilomètres annuels (en millions)		5,23	5,81
Nombre d'éléments au parc		62	88
Nombre d'heures de conduite (en milliers)		138,3	138,3
Kilométrage annuel par élément au parc		95 000	66 000
Rapport du nombre d'éléments-kilomètres journalier au nombre d'éléments-kilomètres à l'heure de pointe		10,3	10,4
Taux d'occupation moyen sur le tronçon le plus chargé		0,63	0,62

B - DEPENSES D'INVESTISSEMENT

Le coût moyen du génie civil, dans la solution métro, inclut aussi bien le gros oeuvre des stations, les frais de déviation et de rétablissement de la circulation en surface que les frais généraux et les à valoir d'imprévus : il est pris égal à 40 millions de francs du kilomètre pour une ligne de 15 km, construite en tranchée couverte en dehors du centre et en souterrain sur 900 mètres dans l'hypercentre, pour une ville du type de Neuchateau.

Avec une interstation moyenne sur la ligne de 600 m (26 stations sur la ligne), les dépenses d'équipements sont les suivantes, pour le métro :

- . aménagements des stations : 3,9 millions de francs par station ;
- . voies principales et secondaires : 2,8 millions de francs par kilomètre de ligne ;
- . escaliers mécaniques - équipements de péage et de contrôle : 0,8 million de francs par station ;
- . alimentation en énergie électrique - ventilation - épuisement des eaux : 4,0 millions de francs par kilomètre de ligne ;
- . signalisation - télécommandes et télésignalisation : 3,75 millions de francs par kilomètre de ligne ;
- . équipement des dépôts et ateliers : 1,3 millions de francs par kilomètre de ligne.

Pour le calcul des annuités d'amortissement, tous ces équipements sont supposés amortis sur la durée de vie. Elle est de 30 ans en général, mais de 60 ans pour le génie civil (tunnel métro) et de 15 ans seulement pour les escaliers mécaniques et les équipements de péage, de contrôle, de télécommandes, de télécommunications et de signalisation. Le taux d'actualisation est de 8 %.

Le coût d'un élément de deux voitures est estimé à 2,4 millions de francs.

La durée de vie du matériel roulant est de 25 ans.

	MONTANT TOTAL DES INVESTISSEMENTS (en millions de francs)	
	Tramway large élément long	Métro
Génie civil (dépenses Neuchâteau)		
Durée de vie 30ans	127,20	600,0
Equipements		
Durée de vie 30 ans	72,00	222,9
Durée de vie 15 ans	16,50	71,1
Matériel roulant		
Durée de vie 25 ans	237,60	148,8
T O T A L	453,30	1 048,8

Pour le métro, le coût total ressort à 70 MF par km de ligne.

Il est de 30 MF environ par km de ligne pour le tramway.

	ANNUITES D'AMORTISSEMENT (en millions de francs)	
	Tramway large élément long	Métro
Génie civil	11,30	48,48
Equipements	8,32	28,80
Matériel roulant	22,26	13,94
T O T A L	41,88	91,22

C - DEPENSES D'EXPLOITATION

Les prix de base sont données pour le métro aux conditions économiques du 1er janvier 1975

Pour le tramway, les prix unitaires figurent à l'annexe n° 2.

C1 - Prix unitaires métro

Les hypothèses sont les suivantes :

C1.1 - Personnel de conduite

Le coût de l'heure de conduite est estimé à 35 F, le salaire d'un conducteur atteignant 43 000 F annuels. Les 6,00 h de travail journalier d'un conducteur ne représentant que 3,37 h de conduite réelle, car il y a par rapport au personnel strictement nécessaire 78 % de majoration pour début et fin de travail, instruction, maladie, congés, etc...

C1.2 - Personnel en station

Les 26 stations sont confiées chacune à 1 agent. La durée de l'exploitation est divisée en 3 postes, il faut 170 agents de station pour 100 services à assurer et le salaire annuel d'un agent en station est égal à 85 % du salaire annuel d'un conducteur.

C1.3 - Frais de personnel du service central d'exploitation et du PCC

Ces frais représentent 10 % des dépenses de personnel roulant et de personnel en station.

C1.4 - Energie de traction

Un élément motrice-remorque consomme 7,0 kwh par kilomètre, à 0,20 F du kwh.

C1.5 - Energie hors traction

Ce poste recouvre l'éclairage et le chauffage des stations et des tunnels et l'énergie consommée par les installations de pompage et de ventilation et par la signalisation, les télétransmissions et le fonctionnement des appareils électromécaniques. Le total des dépenses s'élève à 32 400 F par station.

C1.6 - Entretien du matériel roulant et des ateliers

Pour un élément motrice-remorque, les coûts d'entretien du matériel roulant et des ateliers s'élèvent à 1,30 F par kilomètre.

C1.7 - Entretien des installations fixes

C1.7.1 - Tunnel

L'entretien du tunnel, des ouvrages divers, des voies, des équipements de signalisation, des canalisations basse tension, des équipements d'épuisement et de ventilation est estimé à 100 000 F par kilomètre de ligne.

C1.7.2 - Stations

Les dépenses d'entretien des ouvrages, des équipements d'éclairage, de chauffage et de télécommunication sont calculées sur la base de 50 000 F par station.

C1.7.3 - Escaliers mécaniques

Chaque station est équipée d'un escalator dont l'entretien coûte 20 000 F par an.

C1.7.4 - Equipements de péage et de contrôle

Les dépenses d'entretien d'environ 50 distributeurs et 30 oblitérateurs totalisent globalement 50 000 F par an.

Le nombre d'appareils en service est le même que celui retenu pour la comparaison entre modes de l'annexe n° 1.

C1.7.5 Poste de commande centralisée

Pour la ligne, les dépenses totales d'entretien s'élèvent à 800 000 F par an.

C1.8 - Coût des accidents

Les dépenses d'assurances et de remise en état du matériel accidenté sont évaluées à 2,4 centimes par élément-kilomètre.

C1.9 - Dépenses de perception liées au trafic

Pour les frais annexes de fabrication des titres de transport, de contrôle et de transport des recettes, la dépense est supposée égale à 2,80 F pour 1000 voyageurs.

C1.10 - Frais de direction et d'administration

Les dépenses engagées pour le personnel administratif sont égales forfaitairement à 10 % de l'ensemble des dépenses de personnel d'exploitation et d'entretien.

Le pourcentage des dépenses de personnel par poste est le suivant :

. personnel de conduite :	: 100 %
. personnel en station	: 100 %
. entretien du matériel roulant	: 82 %
. personnel du service central d'exploitation et du PCC	: 100 %
. entretien des installations fixes	: 96 %
. coût des accidents	: 20 %
. dépenses annexes aux recettes	: 96 %

C2 - Dépenses totales

	DEPENSES ANNUELLES D'EXPLOITATION (en millions de francs)	
	Tramway large élément long	Métro
Personnel de conduite	4,47	4,84
Personnel en station	-	4,92
Personnel du service central et du PCC	-	0,98
Energie de traction	4,81	7,33
Energie hors traction	0,11	0,84
Entretien du mat. roulant	8,88	6,80
Entretien des installations fixes	1,60	4,17
Dépenses de perception liées au trafic	0,26	0,26
Coût des accidents	2,39	0,13
Personnel administratif	1,38	2,06
T O T A L	<u>24,90</u>	<u>32,33</u>

D - COMPARAISON ENTRE LES MODES

D1 - Tableau récapitulatif

Le trafic annuel dans les deux solutions est de 460,98 millions de voyageurs-kilomètres. Pour satisfaire cette demande de transport, le nombre de places-kilomètres offertes est de 1 482,09 dans le système tramway large élément long, et de 1 465,14 dans le système métro.

Pour les données tramway, les hypothèses de génie civil sont les hypothèses moyennes (dépenses Neuchâteau).

TABLEAU RECAPITULATIF

	Tramway large élément long	Métro
Annuités d'amortissement hors génie civil (en millions de francs)	30,58	42,74
Annuités totales d'amortissement (en millions de francs)	41,88	91,22
Dépenses totales d'exploitation (en millions de francs)	24,90	32,33
Dépenses totales d'exploitation et d'amortissement (en millions de francs)	66,78	123,55
Dépenses totales d'exploitation et d'amor- tissement à la place-kilomètre offerte (en centimes)	4,51	8,43
Dépenses totales d'exploitation et d'amor- tissement au voyageur-kilomètre (en centimes)	14,49	26,80

D2 - Bilan pour la collectivité

Les dépenses totales d'exploitation et d'amortissement au voyageur-kilomètre sont de 14,5 centimes pour le tramway en site propre sur voirie et de 27 centimes, soit près du double, pour la solution métro.

Les qualités de service offert sont cependant différentes pour chacune des deux solutions : pour compléter une comparaison stricte, des dépenses engagées, et mesurer l'intérêt respectif des deux modes pour la collectivité, il faut examiner les durées totales de déplacement des usagers du tramway ou du métro.

INTERVALLE DE PASSAGE
DES VEHICULES AUX ARRETS (en minutes)

	TRAMWAY	METRO
EN HEURE DE POINTE	2,04	2,25
EN HEURE CREUSE DE NUIT	7,50	7,50

	TRAMWAY	METRO
Temps d'attente moyen	1,82	1,35
Temps de trajet moyen	12,08	9,38
Durée moyenne du déplacement (attente + trajet)	13,90	10,73

La différence de temps total, pour un déplacement, semble être en moyenne de 3,2 mn entre le tramway et le métro : d'une part les temps d'attente sont a priori inférieurs dans la solution métro, puisque le nombre de passager des rames de métro en dehors de la période de pointe et de la période la plus creuse est grosso modo le double de ce qu'il est pour les rames de tramways, d'autre part la vitesse commerciale du métro excède celle du tramway de 7 km/h dans la comparaison effectuée.

Mais cette différence de temps total n'intègre pas les temps d'accès au quai : tous les arrêts de tramway sont au niveau du sol, alors que les stations de métro sont toutes en souterrain. Le temps d'accès au quai, s'il est négligeable pour le tramway, approche la minute dans le cas du métro. La durée totale du déplacement varie donc en moyenne de moins de 2 mn entre les deux modes, le métro assurant le plus rapide déplacement.

Une objection possible aux hypothèses de la comparaison précédente est que la totalité de la ligne est construite en souterrain dans la solution métro : avec l'hypothèse d'une mise en souterrain de la ligne sur 50 % de sa longueur, le reste de la ligne étant au niveau du sol, et des coûts au km de génie civil de 50 millions de francs pour le tunnel (le tunnel est dans la partie centrale *) et de 15 millions de francs en surface, le gain total réalisé pour les investissements n'est que de 7,5 millions de francs par kilomètre de ligne (70 MF dans la solution initiale, contre 30 MF par kilomètre de ligne en tramway). Les dépenses totales d'exploitation et d'amortissement ne sont alors inférieures annuellement que de 8,2 millions de francs aux dépenses de la solution initiale : respectivement pour le tramway et le métro, ces dépenses se montent à 66,8 MF et 115,4 MF chaque année.

Pour un trafic de pointe de 12 000 voyageurs/heure, et dans les limites de notre comparaison, le métro, qui fait gagner deux minutes en plus par trajet, coûte donc environ deux fois plus cher que le tramway exploité en site propre au niveau du sol.

* Le tunnel métro est amorti en 60 ans au taux de 8 %.

La plateforme en surface est amortie au même taux, mais en 30 ans. Rappelons que le coût du tunnel tramway a été pris égal à 80 MF par kilomètre, dans le but de ne pas favoriser ce mode de transport, sachant que les parties de la ligne de tramway en souterrain sont construites à la limite de l'hypercentre, où le creusement en tunnel est le plus difficile.

ANNEXE 5 - S.D.A.U. DE NEUCHÂTEAU
COMPARAISON DES MONTANTS DES INVESTISSEMENTS DE TRANSPORTS URBAINS

La présente annexe donne les éléments de comparaison entre les systèmes de transport concernant les dépenses d'investissements à engager d'ici 2000.

Les deux variantes comparées sont :

- . Le système de transport retenu dans le S.D.A.U. élaboré par l'Agence d'Urbanisme de la ville de Neuchâteau : hypothèse A.
- . Le système de transport proposé au ch. 3.3 du rapport, plus favorable aux transports publics : hypothèse B.

Les montants des investissements à réaliser entre 1975 et 2000 sont évalués aux conditions économiques de Janvier 1975.

La programmation des différentes opérations n'étant pas définie avec suffisamment de précision, on comparera les montants totaux exprimés en francs 1975 sans utiliser le concept d'actualisation.

L'estimation ne prend pas en compte la totalité des investissements à prévoir en matière de transport. Les dépenses correspondant aux postes suivants sont écartées, car elles sont presque identiques pour les deux politiques comparées :

- . voies express nationales (autoroute A 17, A 117) et desserte de l'aéroport
- . deux nouveaux ponts sur la Tigne
- . voirie urbaine primaire non rapide et voirie secondaire
- . parkings hors du centre
- . gares routières et de marchandises
- . réseau SNCF

On envisagera successivement la voirie rapide, les parkings dans le centre, le réseau d'autobus, le réseau de tramway et le transport en commun en site propre.

La présente annexe donne les éléments de comparaison entre les systèmes de transport concernant les dépenses d'investissements à engager d'ici 2000.

Les deux variantes comparées sont :

Le système de transport retenu dans le S.D.A.U. élaboré par l'Agence d'Urbanisme de la ville de Neuchâteau : hypothèse A.

Le système de transport proposé au ch. 3.3 du rapport, plus favorable aux transports publics : hypothèse B.

Les montants des investissements à réaliser entre 1975 et 2000 sont évalués aux conditions économiques de Janvier 1975.

La programmation des différents opérations n'étant pas définie avec suffisamment de précision, on comparera les montants totaux exprimés en francs 1975 sans utiliser le concept d'actualisation.

L'estimation ne prend pas en compte la totalité des investissements à prévoir en matière de transport. Les dépenses correspondant aux postes suivants sont écartées, car elles sont presque identiques pour les deux politiques comparées

voies express nationales (autoroute A 17, A 117) et desserte de l'aéroport

deux nouveaux ponts sur la Tigne

voirie urbaine primaire non rapide et voirie secondaire

parkings hors du centre

gares routières et de marchandises

réseau SNCF

on envisagera successivement la voirie rapide, les parkings dans le centre, le réseau d'autobus, le réseau de tramway et le transport en commun en site propre.

A - VOIRIE RAPIDE URBAINE

A1 - estimation des coûts unitaires au km (moyenne pour, environ, 65 % de 2 x 2 voies et 35 % de 2 x 3 voies

. génie civil au niveau du sol 6 MF en tranchée 15 à

25 MF en tunnel 60 à 90 MF

. coût foncier : de 0 à 50 MF du km, variable suivant la largeur d'emprise (40 m à 60 m), le prix du terrain (qui atteint 600 F/m² dans le centre) et la densité de population et de commerces.
Pour le calcul des indemnités de relogement on a retenu 1 000 F par m² et un taux de 20 m² de plancher par habitant.
Bien entendu, pour les voies rapides aménagées sur le tracé de voies existantes seules les extensions de l'emprise ont été prise en compte.

A2 - coûts unitaires au km par catégorie de voirie rapide (en MF)

Catégorie de voirie rapide	coût génie civil et équipements	coût foncier	coût total
voies en rase campagne en périphérie	6	2	8
voies au niveau du sol en banlieue et proche banlieue	6	10	16
voies en tranchées en proche banlieue	15	15	30
voies dans tissu urbain proche banlieue	20	30	50
voies dans tissu urbain centre	25	45	70
voie en tunnel centre	75	0	75

A3 - montant des investissements pour les deux hypothèses (en MF)

catégorie de voirie rapide	Coût unitaire	nombre de km		montant investissement ,	
		A	B	A	B
voies en rase campagne en périphérie	8	72	58	576	464
voies au niveau du sol en banlieue et proche banl.	16	26	19	416	304
voies en tranchées en pro che banlieue	30	9,5	5	285	150
voies dans tissu urbain proche banlieue	50	5	2,5	250	125
voies dans tissu urbain centre	70	4,5	2,5	315	175
voie en tunnel centre	75	1	0	75	0
TOTAL		118	87	1 917	1 218

B- STATIONNEMENT DANS LE CENTRE

B1 - coûts unitaires

- place en silo 10 000 F
- place en souterrain 25 000 F

B2 - montants des investissements pour les deux hypothèses (en MF)

	nombre de places		montant investissement	
	A	B	A	B
parkings silo	9 300	0	93	0
parkings sous-sol	9 300	1 800	232	45
T O T A L	18 600	1 800	<u>325</u>	45

C - RÉSEAU D'AUTOBUS

C1 - coûts unitaires

- prix d'achat d'un autobus standard de 72 places : 240 000 F
- coût du dépôt : 85 000 F par autobus

C2 - estimation du volume du parc en 2000 pour les deux hypothèses

Les principales hypothèses de calcul sont les suivantes : . données fournies par le modèle de prévision de trafic :

	A	B
nombre de voyageurs journaliers	275 000	301 000
nombre de voyageurs x km annuels	$374,9.10^6$	$388,2.10^6$

- l'occupation moyenne des autobus est de 20 personnes par véhicule.
- le kilométrage moyen s'élève à 37 000 dans l'hypothèse A (vitesse commerciale moyenne de 13 km/h) et à 45 000 dans l'hypothèse B (vitesse commerciale moyenne de 16 km/h).

volume du parc en 2000 et véhicules x km annuels :

	A	B
nombre de véhicules x km annuels	$18,69.10^6$	$19,35.10^6$
parc	505	430

C3 - montant des investissements pour les deux hypothèses

Le parc d'autobus actuel est de 300 véhicules. Le volume des investissements à consacrer au renouvellement et à l'accroissement du parc a été calculé pour la période 1975-2000 sur la base d'une durée de vie de 10 ans pour les autobus

Les dépenses concernant les dépôts ont été évaluées pour les volumes du parc en 2000.

Enfin, il a été prévu une dépense identique pour les deux variantes consacrée à des aménagements destinés à protéger les axes parcourus par les principales lignes d'autobus (matérialisation des bandes réservées, commandes des feux par les autobus aux points durs, protection des piétons, ...) correspondant à 100 km de site protégé à 400 000 F le km.

montants des investissements (en MF) :

Postes	A	B
achats d'autobus	310	268
(nombre d'autobus achetés entre 1975 et 2000)	(1 290)	(1 115)
construction de dépôts	18	11
aménagements de sites protégés	40	40
TOTAL	368	319

D_ LIGNE DE TRANSPORT EN COMMUN EN SITE PROPRE (HYPOTHESE A)

D1 - coûts unitaires

La ligne de T.C.S.P., longue de 11,5 km, joignant Ville Ouest au centre de Neuchâteau est située constamment à l'air libre. Elle doit franchir la Tigne sur un nouveau pont. Son itinéraire est le plus souvent commun avec celui d'une voie express, 12 stations sont prévues le long de son Parcours.

. coût moyen de génie civil (pont et stations compris) : 15 MF/km

.coût des équipements fixes : 8 MF/km

L'exploitation est prévue avec des véhicules de 125 places susceptibles, à terme, de se déplacer sans conducteurs. Il n'est pas prévu non plus de personnel en station.

Le coût d'un véhicule est estimé à 2 MF, celui du dépôt à 200 000 F par véhicule.

D2 - calcul du parc de véhicules

hypothèse de calcul :

prévision :

trafic maximal de pointe fourni par le modèle de 5

000 voyageurs/heure

taux d'occupation en pointe 80 %, ce qui correspond à 100 personnes par véhicule

vitesse commerciale : 36 km/h, ce qui permet une rotation en 43 minutes (8 % du temps de parcours en ligne plus 2 minutes de battement aux terminus)

Dans les conditions le parc s'élève à 40 véhicules en tenant compte d'une réserve d'atelier de 10 %.

D3 - montant des investissements (en MF)

. génie civil	.	173
équipements fixes:		92
matériel roulant :		80
. dépôts	.	8
TOTAL		<u>353</u>

E- RESEAU DE TRAMWAYS (HYPOTHESE B)

E1 - coûts unitaires

Le réseau de tramways comporte 3 lignes présentant chacune des fourches en périphérie et traversant chacune le centre de Neuchâteau. La longueur totale du réseau est de 90 km. 86 km sont situés au niveau du sol, le plus souvent sur la voirie (zone urbanisée). Le franchissement d'autoroutes, voies express et lignes de chemin de fer nécessite la construction de 3 km de viaduc.

Enfin, il est prévu d'enterrer deux des trois lignes dans la traversée du centre ville sur une partie de leur itinéraire, ce qui conduit à une longueur de 1 000 m de tunnel.

Les coûts unitaires de génie civil s'élèvent respectivement à:

- 5 MF/km pour le niveau du sol
- 15 MF/km pour le viaduc
- . 80 MF/km pour le tunnel

. voies (90 km)	:	153
. installations électriques et électroniques	:	90
. distributeurs de tickets	:	9
Total partiel	:	<u>315</u>
matériel roulant (150 véhicules)	:	<u>405</u>
dépôts (150 véhicules)	:	<u>37</u>

T O T A L G E N E R A L : 1 312

F - TABEAU RECAPITULATIF DES INVESTISSEMENTS POUR LES DEUX HYPOTHESES (en MF)

Postes	A	B
Voirie rapide	1 917	1 218
stationnement dans le centre	325	45
réseau d'autobus	368	319
T.C.S.P.	353	0
réseau de tramways	0	1 312
T O T A L	<u>2 963</u>	<u>2 894</u>

La présente annexe donne les éléments de comparaison entre les systèmes de transport concernant les dépenses annuelles pour la collectivité de fonctionnement.

Les deux variantes comparées sont :

- . le système de transport retenu dans le S.D.A.U. élaboré par l'Agence d'Urbanisme de la ville de Neuchâteau : Hypothèse A
- . le système de transport proposé au chapitre 3.3 du rapport, plus favorable aux transports publics : Hypothèse B

Les montants des dépenses annuelles sont évalués aux conditions de Janvier 1975.

Le calcul prend en compte les dépenses de fonctionnement suivantes :

- . dépenses d'utilisation des voitures particulières et des 2 roues pour les déplacements urbains,
- . dépenses d'exploitation des réseaux de transports publics,
- . coût des accidents de la circulation,
- . dépenses d'entretien de la voirie.

Les dépenses sont évaluées T.V.A. incluse comme cela est l'usage; en revanche, on fournit deux montants de dépenses, taxes spécifiques sur les carburants incluses ou exclues.

A - COUTS UNITAIRES D'UTILISATION DE LA VOITURE PARTICULIERE ET DES
2 ROUES

A1 - Voiture particulière

Les dépenses prises en compte sont les suivantes :

- . carburant (super à 1,83 F par litre, taxes sur les carburants comprises, et 1,10 F le litre sans ces taxes),
- . lubrifiant,
- . pneus,
- . entretien général et réparations,
- . part de l'amortissement imputable au kilométrage parcouru.

Le calcul a été mené pour une automobile de 7 chevaux fiscaux, consommant 12 litres de super au 100 km dans les conditions de la circulation urbaine. Le kilométrage moyen annuel a été pris égal à 15 000, la voiture étant supposée revendue après 4 ans d'utilisation.

Les coûts kilométriques correspondant aux postes précédents sont égaux à :

. carburant et lubrifiant	0,230 F (0,147 F hors taxes sur les carburants)
. pneus, entretien général et réparations	0,045 F
. part de l'amortissement kilométrique	0,03 F (1)
. coût marginal total	0,305 F (0,222 F hors taxes sur les carburants)

Les coûts non proportionnels aux kilomètres parcourus sont exclus (assurance, vignette, garage, amortissement moyen ...).

Le coût des accidents est pris en compte par ailleurs.

(1)

La dépréciation de la voiture en 4 ans est de l'ordre de 11 000 F pour un parcours moyen annuel de 15 000 km un abattement supplémentaire de l'ordre de 600 F au minimum peut intervenir pour un kilométrage annuel de 20 000, inversement un bonus du même ordre peut être obtenu si le kilométrage annuel est limité à 10 000.

A2 - Deux roues

Le coût kilométrique a été estimé à 0,05 F, taxes sur les carburants comprises et 0,035 F taxes sur les carburants exclues.

B - COUTS D'EXPLOITATION A LA VOITURE X KM DES RESEAUX DE TRANSPORTS PUBLICS

B1 - Autobus

Le calcul du coût à la voiture x km est effectué pour une ligne moyenne, longue de 10 km, dont le trafic horaire de pointe est de 750 voyageurs dans le sens le plus chargé.

La vitesse commerciale est de 13 km/h dans l'hypothèse A, et de 16 km/h dans l'hypothèse B (bandes réservées plus nombreuses, circulation automobile moins dense...).

Les autobus ont une capacité de 72 places. Le taux d'occupation à la pointe est estimé à 80 %, ce qui conduit à un parc de 25 véhicules dans l'hypothèse A et de 20 véhicules dans l'hypothèse B, avec une réserve d'atelier de 13 %.

Le nombre de voiture x km journalier est supposé égal à 11 fois celui offert pendant l'heure de pointe.

Les kilométrages annuels moyens par bus s'élèvent à :

- . 37 000 km (A)
- . 45 000 km (B)

Les éléments du calcul du coût d'exploitation à la voiture x km (amortissement exclus) sont ceux présentés à l'annexe n° 2 en ce qui concerne le coût de l'heure de conduite, la consommation de carburant, l'entretien du matériel roulant, les dépenses de remise en état du matériel accidenté, les coûts de perception liés au trafic, et les frais d'administration et de direction.

Pour l'entretien des installations de régulation de la marche des autobus, de protection des sites propres et des arrêts une estimation particulière a été réalisée.

Le coût des accidents, remise en état du matériel roulant accidenté mis à part, figure au paragraphe C.

Coût à la voiture x km par postes détaillés

Postes	Coût à la voiture x km (francs)	
	A	B
Conduite et encadrement exploitation	2,38	1,94
Carburants	0,41	0,41
(hors taxes spécifiques)	(0,26)	(0,26)
Entretien des autobus et remise en état de matériel accidenté - entretien des dépôts	1,07	1,02
Entretien des installations fixes (protection des sites propres, arrêts, équipements de régulation et de perception)	0,15	0,15
Frais d'administration et de direction	0,33	0,29
T O T A L	4,34	3,81
	----	----
T O T A L hors taxes sur les carburants	(4,19)	(3,66)

B2 - Ligne de transport en commun en site propre (hypothèse A)

Le calcul du coût à la voiture x km est effectué pour la ligne en site propre de 11,5 km joignant Ville Ouest au centre de Neuchâteau.

Le trafic horaire de pointe est de 5 000 voyageurs dans le sens le plus chargé.

La vitesse commerciale est de 36 km/h, la durée du tour de 43 minutes. Le taux d'occupation en pointe est estimé à 80 %. La capacité des véhicules étant de 125 places, le parc s'élève 40 voitures, compte tenu d'une réserve d'atelier de 10 %.

Le nombre de véhicules x km journalier est supposé égal à 10,5 fois celui offert pendant l'heure de pointe.

Le kilométrage annuel par véhicule est de 95 000 km. Le nombre de voitures x km annuels s'élève à 3 800 000.

Les éléments du calcul du coût d'exploitation au véhicule x km (amortissements exclus) sont les suivants :

- La conduite des véhicules est entièrement automatique, aucun agent n'est prévu à bord. Cette hypothèse, particulièrement favorable du point de vue du coût d'exploitation, est manifestement optimiste, mais c'est celle retenue par les responsables de l'élaboration du S.D.A.U. de Neuchâteau et nous la conserverons. Aucun agent n'est prévu en station.
- l'effectif prévu pour la surveillance de la ligne est de 6 agents pendant toute la durée du service (20 heures).
- l'effectif prévu au service central d'exploitation et au poste de commande centralisée est de 2 agents.
- la consommation d'énergie est de l'ordre de 3 kWh par véhicule x km
- les données concernant les méthodes d'entretien du matériel roulant et des installations fixes n'étant pas disponibles, l'estimation des dépenses a été faite à partir des éléments concernant le métro et le tramway.

Coût à la voiture x km par postes détaillés

- personnel de surveillance :
6 agents, d'où un effectif de 31 pour 3 postes de travail et un coefficient majorateur de 1,7 pour congés, maladies, absentéisme.
Le montant du salaire et des charges sociales est pris égal à 37 000 F/an.
Coût annuel : 1,15 MF.
- service central de l'exploitation et PCC :
2 agents en permanence d'où un effectif de 10 à 60 000 F par an.
coût annuel : 0,60 MF
- énergie de traction :
3 kWh à 0,20 F par kWh soit 0,60 F par V.K.
- énergie hors traction (essentiellement alimentation des systèmes de péage et de contrôle et éclairage des stations la nuit) :
10 000 F par station et par an soit 0,12 MF.
- entretien du matériel roulant et des ateliers (pilotage automatique exclu)
le coût à la voiture x km est estimé à 0,8 F.
Rappelons qu'il a été pris égal à 0,65 F pour le métro et à 25 000 F par an plus 1,15 F par VK pour le tramway à 2 éléments longs, gabarit large de 255 places.
- entretien des équipements de pilotage automatique
Le coût d'entretien annuel, proportionnel au nombre d'interstations franchies (4 millions par an) peut-être estimé à 1 MF.
- entretien des installations fixes (canalisations basse tension, signalisation, voie, génie civil, stations, péages et contrôle, PCC) :
Les éléments retenus sont ceux figurant à l'annexe 2, ils conduisent à un coût annuel de 2,25 MF.

- dépenses de perception liées au trafic :
elles sont estimées à 0,1 MF par an
- personnel administratif :
les dépenses annuelles égales à 10 % des dépenses de personnel d'exploitation et d'entretien sont estimés à 0,72 MF par an.

Le coût des accidents est évalué au paragraphe C.

Postes	Coût annuel en MF	Coût à la VK en francs
Personnel de surveillance	1,15	0,30
Service central de l'exploitation et PCC	0,60	0,16
Energie de traction	2,28	0,60
Energie hors traction	0,12	0,035
Entretien du matériel roulant et des ateliers	3,04	0,80
Entretien du pilotage automatique	1,00	0,26
Entretien des installations fixes	2,25	0,59
Dépenses de perception liées au trafic	0,10	0,025
Personnel administratif	0,72	0,19
T O T A L	<u>11,26</u>	<u>2,96</u>

B3 - Réseau de tramway (hypothèse B)

Le coût du véhicule x km - tramway 2 éléments longs, gabarit large de 255 places - calculé à l'annexe 2 pour un trafic horaire de pointe de 6 000 voyageurs dans le sens le plus chargé s'élève à 4,24 F hors dépenses d'assurance, celles-ci sont comptabilisées au paragraphe C (coût des accidents hors remise en état du matériel roulant).

C - COUT DES ACCIDENTS DE LA CIRCULATION

Pour les moyens individuels le coût des accidents au véhicule x km est de 0,12 F. Pour les autobus et les tramways qui circulent le plus souvent sur la voirie nous avons retenu :

- . 0,15 F à la VK pour les autobus
- . 0,32 F à la VK pour le tramway 2 éléments longs, gabarit large

Ces valeurs ont été estimées à partir de celles constatées à Paris et à Saint-Etienne. Il est cependant très vraisemblable que le coût unitaire retenu pour le tramway, qui correspond à une circulation des véhicules sur la chaussée sans protection particulière, ne sera pas atteint à Neuchâteau où les tramways circulent sur un site propre très protégé.

Pour le T.C.S.P. on a retenu la valeur, très faible, de 0,01 F par VK comparable à celle constatée sur le métro parisien.

D - PREVISIONS DE TRAFIC POUR L'HORIZON 2000 ET ESTIMATION DE L'OFFRE DE TRANSPORT PUBLIC DANS LES DEUX HYPOTHESES

Les modèles de prévision de trafic fournissent pour chaque mode (moyens individuels, autobus, T.C.S.P., tramways) le nombre de voyageurs ainsi que le nombre de voyageurs x km en heure de pointe, journaliers et annuels.

Résultats concernant les prévisions de trafic pour 2000, hypothèses A et B

Modes	Déplacements par jour		Voyageurs x km par jour		Parcours moyen (km)	
	A	B	A	B	A	B
Voiture particulière (1)	$1\,197.10^3$	898.10^3	$7\,158.10^3$	$5\,804.10^3$	5,98	6,46
Deux roues (1)	211.10^3	158.10^3	$1\,263.10^3$	$1\,024.10^3$	5,98	6,46
Autobus	352.10^3		$1\,192.10^3$	$1\,234.10^3$		
T.C.S.P.		704.10^3	400.10^3	0	4,52	
Tramways	0		0	$1\,953.10^3$		4,53
TOTAL	$1\,760.10^3$	$1\,760.10^3$	$10\,013.10^3$	$10\,015.10^3$	5,70	5,70

(1) On a supposé que 15 % des déplacements en moyens individuels seraient effectués en deux roues.

(2) Correspondances comprises.

Caractéristiques de l'offre de transport public

	Autobus		T.C.S.P.	Tramways
	A	B	A	B
Longueur du réseau km	250	350 (1)	11,5	90
Parc	505	430	40	150
Kilométrage annuel par voiture	37 000	45 000	95 000	77 000
Voitures x km annuels	$18,69.10^6$	$19,35.10^6$	$3,80.10^6$	$11,55.10^6$
Nombre de personnes moyen par voitures	20	20	33	55

(1) dont 150 km de lignes principales figurant sur la planche n° 33

Nombre de véhicules x km annuels-moyens individuels

. Voiture particulière A : $1\,734.10^6$
 B : $1\,406.10^6$

pour un taux d'occupation moyen de 1,3 personne par voiture.

. Deux roues A : 397.10^6
 B : 323.10^6

E - COÛTS DE FONCTIONNEMENT PROPORTIONNELS AUX km (en MF)

Modes	Coût d'utilisation hors taxes carburants		Coût d'utilisation total		Coût des accidents	
	A	B	A	B	A	B
Voiture particulière	384,9	312,1	528,8	428,8	208	168,7
Deux roues	13,8	11,3	19,9	16,2	47,6	38,7
Autobus	78,3	70,8	80,9	73,5	2,8	2,9
T.C.S.P.	11,3	0	11,3	0	0	0
Tramways	0	49,0	0	49,0	0	3,7
T O T A L	488,3	443,2	640,9	567,5	258,4	214

Comparaison des coûts de fonctionnement proportionnels aux km (en MF)

Hypothèse	Coût annuel hors taxes Carburants	Coût annuel Total
A	746,7	899,3
B	657,2	781,5

F - COÛTS D'ENTRETIEN DE LA VOIRIE

On évaluera seulement la différence des dépenses d'entretien annuelles de la voirie urbaine rapide entre les deux variantes.

Cet écart, à l'avantage de l'hypothèse B, provient de la différence de longueur du réseau rapide et dans une moindre mesure de la différence de volume du trafic exprimé en véhicules x km annuels.

On obtient une valeur minimale de ce gain en se limitant à prendre en compte le premier facteur : extension du réseau de voirie rapide urbaine.

Les dépenses annuelles d'entretien sont estimées, pour ces infrastructures, à 1,5 % du coût de génie civil et d'équipements; elles sont exprimées en MF.

Hypothèse	Longueur du réseau rapide (km)	coût du réseau (foncier exclu)	Dépenses annuelles d'entretien
A	118	1 003	15,0
B	87	649,5	9,7

G - BILAN RECAPITULATIF en MF

Hypothèse	Coût annuel hors taxes carburants	coût annuel total	Gain annuel apporté par B hors taxes carburants	Gain annuel apporté par B
A	761,7	914,3	-	-
B	666,9	791,2	94,8 (12,4 %)	123,1 (13,5 %)

H - BASES DU BILAN ENERGETIQUE

Consommation annuelle par mode :

Mode	A	B
V.P. et 2 roues (millions de litres de super)	216,02	175,18
Autobus (millions de litres de gazole)	6,63	6,87
TCSP et tramways (kilowatt. heure)	11,40	57,75

Pouvoir calorifique par source d'énergie :

. Supercarburant	10,5	thermies/kg
. Gazole	10,8	" "
. Charbon	8,0	" "
. Electricité	0,86	thermies/kWh

Le rendement des centrales thermiques est de 36 % et celui des centrales hydrauliques de 90 %.

A l'horizon 2000, ces dernières sont supposées fournir 20 % de l'énergie électrique.