

LA GESTION INFORMATISÉE DES SERVICES DE TRANSPORT COLLECTIF URBAIN :
L'APPROCHE DU GROUPE TRANSEXEL

par

Michel FRÉNOIS

- Société Lyonnaise de Transports en Commun TCL
50 cours Lafayette 69423 LYON Cedex 3 (France)
- Société Transexel
154 rue de l'Université 75007 PARIS (France)

S O M M A I R E

INTRODUCTION

1. UN PRÉCURSEUR, LE SYSTEME DE BESANCON
 - 1.1 Une politique municipale volontariste en faveur des transports urbains
 - 1.2 Une spécification sévère pour une application de l'électronique à l'amélioration du service offert aux voyageurs
 - 1.3 Description sommaire du système d'aide à l'exploitation
 - 1.4 Première application
 - Des graphiques réalistes
 - Une mesure de la qualité de service
 - 1.5 Deuxième application
 - Une action interne : l'aide au conducteur
 - Une action externe : la commande des feux de circulation
 - 1.6 Troisième application
 - Contrôle automatique des anomalies de progression des bus
 - Une aide à la décision pour gérer les perturbations
 - 1.7 Un outil au service du personnel de l'entreprise
 - 1.8 Coût et efficacité du système d'aide à l'exploitation de Besançon
2. UN SYSTEME INTÉGRÉ A CAEN : des moyens modernes d'aide à l'exploitation des transports publics et à la circulation générale
 - 2.1 Un système de régulation générale du trafic
 - 2.2 Un système d'aide à l'exploitation décentralisé
 - 2.3 Un meilleur service offert au client
 - 2.4 Informer automatiquement la clientèle
 - 2.5 Un pas vers la saisie automatique des données d'exploitation
3. UNE RÉALISATION ÉVOLUTIVE A LYON et son complément d'aide à la gestion
 - 3.1 Un système modulaire
 - 3.2 Une intégration de l'information des clients dans le bus, à terre, et dans les gares routières et points principaux de correspondance
 - 3.3 Vers une conception de l'exploitation assistée par ordinateur

CONCLUSIONS

Ce document a été réalisé grâce à la collaboration des sociétés suivantes : Compagnie des Transports de Besançon, Compagnie des Transports de l'Agglomération Caennaise, Société Lyonnaise de Transports en Commun TCL. Ces entreprises sont des filiales de la Société TRANSEXEL, Société de services auprès des collectivités locales, et gèrent le service des transports publics de voyageurs pour le compte des autorités organisatrices des transports dans les agglomérations de Besançon, Caen et Lyon.

INTRODUCTION

Les transports urbains de voyageurs se sont orientés il y a plus d'une décennie vers la satisfaction des souhaits des voyageurs après s'être contentés de satisfaire leurs besoins. L'effort était d'autant plus important à faire en France que la période 1945-1965 avait vu dépérir le transport public face à la concurrence des transports individuels : le renouveau fut d'abord en termes quantitatifs après le Colloque de Tours de 1970 et l'instauration d'une contribution obligatoire des employeurs au financement des transports urbains (Versement-Transport *) et de plus en plus en termes qualitatifs. L'offre de transport s'est profondément modifiée.

Quels besoins, quels souhaits de la part des voyageurs ?

D'abord une offre disponible à proximité du domicile, ou de l'école ou du lieu de travail. Ensuite des bus fréquents et nombreux, circulant dans les meilleures conditions de circulation possibles compte tenu des contraintes du partage de l'espace urbain.

C'est un préalable en effet d'avoir physiquement tout mis en oeuvre pour l'expression d'une réelle volonté politique en faveur des TC avant de recourir à l'électronique : à défaut l'on risque de "plaquer du mécanique sur le vivant" et de réaliser une fausse et illusoire amélioration.

Mais alors les moyens humains apparaissent bien limités pour assurer le respect de l'horaire, corriger les aléas de fonctionnement qui se manifestent par des irrégularités de passage des bus, informer les clients avec fiabilité et pertinence sur les horaires et les itinéraires. Recourons aux outils modernes dans ces domaines, et nous rendrons le transport public réellement au service de ses clients.

Un autre souci de l'entreprise est de faire en sorte que le client soit satisfait, mais au meilleur coût et avec une relation raisonnable entre le coût et la performance. Les systèmes d'aide à l'exploitation apparaissent ainsi comme des moyens privilégiés d'améliorer la performance économique des entreprises: non seulement ils attirent une clientèle nouvelle, mais ils permettent d'adapter l'offre au plus près des paramètres mesurés sur le terrain. Les graphiques de marche des véhicules peuvent être ainsi adaptés de façon réaliste, les aléas réduits de la marche réelle des voitures permettent d'améliorer de quelques points la vitesse réelle de circulation. Autant de moyens économisés, dont on pourra disposer pour améliorer quantitativement l'offre là où c'est encore nécessaire. Cette amélioration de productivité est à elle seule une justification suffisante pour l'investissement réalisé. On s'en rendra compte dans les exemples donnés plus loin.

Enfin c'est l'ensemble de la gestion de l'entreprise qui va profiter de cette source nouvelle de remise à jour permanente : les flux d'information ne sont plus limités par la capacité de traitement d'un individu isolé. Les barrières entre les spécialités vont faire place à une complémentarité, les équipes de direction disposent d'un outil de sélection et de concentration des aides à la décision. Cela répond à une volonté des responsables d'assurer la meilleure délégation des responsabilités et des moyens. Cela satisfait également le vœu des cadres et agents de maîtrise d'assumer pleinement leur fonction et de décider à leur niveau des moyens propres à l'amélioration du service public.

.../.

* Le versement-transport est un impôt local payé par les entreprises et administrations employant plus de 10 salariés dans le périmètre des transports urbains. Cet impôt est affecté aux dépenses de transport exclusivement, qu'il s'agisse de dépenses d'exploitation ou d'investissement.

1. Un précurseur, le système de la Compagnie des Transports de Besançon

1.1 Une politique municipale volontariste en faveur des transports urbains

La ville de Besançon (130 000 habitants) connaissait, en 1974, de graves problèmes de circulation et une dévitalisation progressive de son centre. Il fut alors mis en place par la municipalité un plan global très ambitieux comportant trois volets principaux :

- création d'une zone piétonne en plein coeur de la ville ;
- élimination du trafic de transit des voitures particulières par cloisonnement de l'hypercentre en quartiers étanches, créations d'une rocade de contournement et de parkings proches de ce centre ;
- restructuration complète du réseau de transport public urbain afin d'accélérer les échanges périphérie centre-ville, de favoriser certaines liaisons inter-quartiers, accompagné d'un doublement de l'offre de transport, de la mise en service du matériel moderne et de la mise en place de voies réservées aux autobus dans le centre : ceci a été réalisé par la Compagnie des Transports de Besançon (groupement Transexel) en liaison avec la Municipalité et les Services Techniques de la Ville.

Pour parfaire cette amélioration de la qualité de service et, plus spécifiquement, de la régularité, le réseau de Transport Public se dota d'un système automatique d'aide à l'exploitation des autobus susceptible de permettre la mise en oeuvre de mesures fines de régulation donnant des performances identiques à celles d'un réseau en site propre.

1.2 Une spécification sévère pour une application de l'électronique à l'amélioration du service offert aux voyageurs

Le système envisagé avait un caractère très expérimental, en raison de la grande nouveauté de ce moyen (aucun système opérationnel, même partiellement, dans le monde à cette époque).

Le cahier des charges était donc principalement fonctionnel, pouvant se résumer ainsi :

- donner à la maîtrise du réseau un outil de contrôle en temps réel de la circulation des autobus en :
 - . localisant en temps réel les bus sur leurs itinéraires (dans l'espace) ;
 - . localisant en temps réel les bus par rapport à leur graphique de marche (dans le temps) ;
 - . visualisant ces informations sous une forme synthétique permettant une intervention humaine face à la situation d'ensemble, dans un premier temps par exploitation à vue des anomalies, pouvant aller éventuellement vers une exploitation automatique à définir ultérieurement ;
 - . stockant les informations par une exploitation statistique ultérieure.

1.3 Description sommaire du système d'aide à l'exploitation

C'est un système centralisé composé d'un ordinateur central et de dispositifs embarqués à bord des bus, qui servent à la fois à la saisie des données et à l'affichage des ordres émanant du régulateur situé au PC.

Chaque bus est équipé d'un radiotéléphone bicanal (phonie + transmission de données) avec micro et haut-parleur à usage du conducteur, d'une électronique de traitement, avec modulateur et démodulateur pour les données numériques, de différents capteurs (nombre de tours de roue, contacts d'ouverture-fermeture des portes), d'un boîtier de visualisation des consignes reçues du PC. Il y a bien sûr un boîtier de commandes et, dans certains bus, un émetteur hyperfréquence pour la commande des feux de carrefour.

Le poste central comporte les équipements d'aide à la décision du régulateur (un minicalculateur MITRA 15 et son environnement de base, divers périphériques de présentation de la situation : tableau synoptique, moniteur TV couleur, imprimante semi-rapide, écran cathodique noir et blanc et son clavier de commande, pupitre micro-haut-parleur-alternat) ainsi que les équipements de transmission sous la forme de 3 émetteurs-récepteurs radio (données, phonie, secours).

Ces équipements permettent bien sûr une liaison radiotéléphonique relativement classique (appel sélectif complet) entre les autobus et le PC. La vocation primaire de cette installation est cependant de localiser l'ensemble des véhicules sur le réseau à tout instant.

Le calculateur interroge en permanence chaque bus l'un après l'autre par son numéro de service ; le bus concerné répond automatiquement par un message comportant un certain nombre d'informations, dont la distance parcourue depuis le terminus. A partir de différents fichiers en mémoire (distance terminus-station, heures de départ, tranches horaires, vitesses de progression), le calculateur localise alors le bus sur la ligne, établit son état (avance-retard), le transmet au chauffeur et présente l'ensemble de ces informations, sous différentes formes, sur les périphériques du PC. La durée d'un cycle complet d'interrogation des 95 bus est d'environ 25 secondes.

1.4 Première application : l'établissement des graphiques de référence et le suivi de la qualité du service

Des graphiques réalistes

Dès l'instant où l'on veut faire tendre une situation réelle vers une référence théorique (régulation au sens large), il est indispensable de tirer cette référence de données aussi réalistes que possible. Il ne faut pas oublier, en effet, que les possibilités d'action au niveau des bus sont relativement limitées en ligne. Le bus ne peut ralentir ou accélérer que dans de très faibles proportions : accélérer, cela se conçoit à cause de la circulation générale et du confort de conduite, et même ralentir, car cela est contraire à l'attente des usagers.

Quant aux modifications d'horaires ou d'itinéraires, dans la mesure où le principe d'exploitation retenu est la ponctualité par rapport à un horaire affiché, elles se traduiront nécessairement par une dégradation de la qualité de service. Il y a donc lieu d'essayer de stabiliser d'une manière intrinsèque le fonctionnement de la ligne par une analyse fine des différents paramètres décomposant les temps de parcours : variations des vitesses sur voirie courante, des temps de franchissement d'intersections, des temps d'arrêt en station, de la charge à prendre par tranche horaire et par type de jour.

Le système prend donc une "photographie" de la situation du réseau toutes les 25 secondes environ, photographie enregistrée et permettant, grâce à un cumul statistique, d'éditer pour les journées échantillonnées (45 à 60 jours en moyenne) :

- la représentation du graphique espace/temps moyen, station par station, pour chaque ligne et chaque sens, pour toutes les courses de la journée, avec la moyenne et la dispersion constatées ;
- les variations lissées des temps de parcours terminus-station au cours de la journée ;
- certains histogrammes d'analyse fine (présentation en des stations clefs).

Tous ces traitements et éditions sont faits par le calculateur, en dehors des périodes de fonctionnement du système d'acquisition de données (soit donc la nuit ou le dimanche).

Associée à un traitement statistique des charges par course (par échantillonnage), cette banque de données permet une constitution de graphiques théoriques réalisables avec une forte probabilité par chacun des bus.

Ces traitements nécessitant la manipulation, l'interprétation et l'édition de nombreuses données, ne peuvent être menés qu'un nombre limité de fois : pratiquement deux fois l'an, pour chaque nouveau service (été-hiver), pour les jours de semaine et le samedi. Les graphiques de marche des 8 lignes du réseau

principal sont depuis 1978 établis à partir de ces résultats et tendent vers une révision de plus en plus réaliste des temps de parcours et des charges. Une fois ces données théoriques programmées dans le système, il est possible d'éditer automatiquement :

- des horaires de passage en chaque station, horaires exacts et fiables,
- des tableaux de marche destinés aux conducteurs, comportant les principaux horaires de passage,

supprimant ainsi les heures de travail fastidieuses et des risques d'incohérence entre divers documents.

Une mesure de la qualité de service

Ces graphiques théoriques étant préétablis pour une période relativement longue, il y a lieu de suivre l'évolution d'un certain nombre de paramètres permettant de juger l'efficacité des moyens ou procédures mis en place. Ces paramètres sont représentatifs de la régularité sous les trois aspects suivants :

- évolution de la ponctualité en station, pour trois stations de contrôle, par ligne, par sens et par tranche horaire (indicateur de qualité de service)
- évolution des temps de parcours par tronçon et par tranche horaire (adéquation théorie - réalité)
- évolution des temps de récupération au terminus pour chaque course et par service (indicateur de conditions de travail).

Contrairement aux traitements précédents, ceux-ci ne sont pas faits à des fins d'analyse mais à des fins de contrôle (suivi de l'évolution). Ils présentent l'avantage de pouvoir être faits parallèlement au fonctionnement normal (acquisition de données temps réel) et rapidement. Ce contrôle se fait mensuellement et donne lieu à un tableau de bord commenté par tous les services de la compagnie.

1.5 Deuxième application : l'aide au conducteur, l'aide à la circulation des bus

Une action interne au réseau de transport : l'aide à la conduite

Le système envoie, à chaque cycle de scrutation (doit 2 fois par minute environ) une information permettant au chauffeur de se situer par rapport à son graphique de marche théorique et de moduler ainsi sa conduite. Cette information prend quatre formes différentes : deux consignes pour le cadencement des départs et deux informations d'écart par rapport à l'horaire théorique.

Information "prêt" : envoyée deux minutes avant le départ, prépare le chauffeur à effectuer son départ et lui demande de réinitialiser son compteur de distance (l'envoi est réitéré tant que le compteur n'est pas mis à zéro).

Information "départ" : elle permet de synchroniser tous les conducteurs sur une même heure, les dégage d'une surveillance astreignante de l'heure et les incite à respecter avec une plus grande ponctualité l'heure théorique (instrument de confort et de qualité de service).

Information "retard" : elle sensibilise le chauffeur et lui permet (dans les limites évidemment très faibles : 1 à 2 minutes) d'essayer de rattraper son horaire théorique (rendu monnaie plus rapide, anticipation sur les feux ...)

Information "avance" : elle est beaucoup plus efficace. L'avance entraîne, en effet, deux conséquences excessivement nocives : tout d'abord, une attente anormalement longue pour la clientèle se fiant aux horaires affichés ; ensuite, une dégradation du fonctionnement de la ligne par formation de trains de bus : grâce aux instruments d'analyse présentés plus haut, le nombre de voitures mises en oeuvre et les temps de parcours graphiqués tiennent étroitement compte de la demande potentielle à un instant donné ; toute avance d'un bus va se traduire par une charge anormalement élevée pour le bus suivant, donc par un retard et, le processus étant cumulatif, à un regroupement des voitures par deux ou trois.

Il est ainsi demandé au chauffeur de conduire, autant que faire se peut, voyant "avance" éteint.

Cette recommandation devient obligation au passage d'une station appelée "arrêt régulateur" à l'entrée du centre-ville : le chauffeur a pour consigne de ne quitter cette station que voyant "avance" éteint. L'horaire de passage en cette station (ainsi que l'heure de départ) est rappelé dans chaque voiture par un document écrit donnant la marche du véhicule ("planchette conducteur"). Cette procédure présente l'inconvénient de légèrement pénaliser la clientèle (arrêt inférieur à 2 minutes) dans le bus, mais il faut remarquer que :

- si le bus a de l'avance, c'est qu'il transporte vraisemblablement un nombre relativement faible de passagers, dans la mesure où l'on adapte finement l'offre à la demande ;

- cette pénalité améliore, pour l'ensemble des usagers de la ligne et, notamment, du bus suivant, les chances d'arriver à l'heure au centre-ville, ce qui ne serait probablement pas le cas si le bus en avance avait continué sa course et rattrapé le précédent, formant ainsi le classique "train de bus".

Une action externe au réseau : la commande des feux de circulation

La connaissance, par le bus, de son écart avance/retard par rapport au graphique théorique est utilisée dans le cadre d'un couplage avec un système de priorité aux feux de carrefours, actuellement expérimenté sur une ligne complète.

Il est important, avant de décrire ce système, d'en préciser les objectifs : on constate à Besançon que 20% du temps de parcours d'un bus est passé en station et 20% à franchir les intersections. Si on veut, d'une part, dans le cadre d'une politique de priorité aux transports en commun, réduire l'écart entre un déplacement en voiture particulière et en bus (pénalisé par ses arrêts en station) et, d'autre part, réduire ou au moins stabiliser les coûts d'exploitation, il est intéressant de diminuer le temps perdu aux intersections. Mais, pour que cela donne des résultats tangibles, il y a lieu :

- premièrement, de résoudre tous les problèmes de saturation aux carrefours,

- deuxièmement, de généraliser le système de priorité aux feux à un nombre maximal de carrefours de la ligne.

Le contexte de la ville s'y prête bien : peu de points noirs, pas de gestion centralisée de la circulation limitant fonctionnellement l'efficacité d'un système adaptatif au niveau de chaque armoire de feux, volonté affirmée des élus et des techniciens de donner une réelle priorité au transport public urbain. Il a été fixé comme objectif de gagner 10% en vitesse commerciale, tant en réduisant les temps de parcours que l'irrégularité en bout de ligne.

Pour ce faire, les bus sont équipés d'un émetteur demandant la priorité à chaque carrefour équipé du récepteur correspondant. Afin de contribuer à l'amélioration de la régularité et de ne pas "trop" pénaliser la circulation générale, cette demande n'est effective que si le bus n'est pas en "avance". Ceci contribue, par ailleurs, à éviter des attentes trop longues aux stations de régulation.

1.6 Troisième application : la gestion des perturbations exceptionnelles

Contrôle automatique des anomalies de progression des bus

Un des premiers intérêts de la surveillance centralisée de l'état du réseau est de permettre un contrôle, en temps réel, du bon respect des consignes par un seul régulateur. Il faut garder présent à l'esprit que les 8 lignes du réseau de Besançon représentent environ 1 300 courses par jour, soit donc 1 300 heures de départ, 1 300 passagers au centre-ville, 1 300 heures d'arrivée au terminus, autant de possibilités de mauvais fonctionnement.

Ce contrôle est aidé par un système d'alarmes automatiques diagnostiquant, quelle que soit l'action en cours du régulateur :

- le non-respect de l'heure de départ (retard supérieur à une minute),
- la probabilité d'arriver en avance au centre-ville : prévision faite environ 500 m avant l'arrêt régulateur, afin de donner le temps au régulateur d'intervenir (par phonie) auprès du chauffeur,
- la probabilité de ne pouvoir respecter l'heure du futur départ à cause du retard accumulé : prévision calculée 15 minutes avant le départ suivant afin de pouvoir faire intervenir un bus supplémentaire ou modifier les heures de départ des bus précédents et suivants.

Ces deux dernières alarmes anticipent sur l'arrivée de la perturbation, permettant ainsi une action plus efficace.

Une aide à la décision pour gérer les perturbations

L'autre intérêt d'une centralisation permanente de la position des bus est de permettre à un contrôleur-régulateur de pouvoir engager des procédures de reconfiguration du réseau (en cas de grosses perturbations, pannes, travaux etc...) au vu de la situation globale et non sur une analyse locale partiellement aveugle, qui est le cas par exemple du régulateur sur réseau ou de la commande centralisée des départs. Il faudra cependant s'efforcer, tant par des mesures internes (adaptation des graphiques, formation du personnel de conduite, entretien des véhicules) qu'externes (conditions de circulation des autobus), de limiter le nombre de ces procédures car :

- elles se traduisent nécessairement par un écart entre le service annoncé et le service offert,
- la capacité d'intervention d'un régulateur n'est pas infinie.

Ces procédures de reconfiguration, très classiques, consistent par ordre décroissant de fréquence d'utilisation en :

- modification d'horaire de départ
- injection de véhicules de réserve
- trajets haut-le pied
- dépassements entre bus
- demi-tours en ligne ou modifications d'itinéraires

Dix à vingt procédures sont appliquées en moyenne chaque jour.

Un effort tout particulier doit être porté à la nature et à la forme des informations visualisées afin d'optimiser l'efficacité du régulateur : il est ainsi possible, à Besançon, à un seul régulateur de gérer les huit lignes (95 bus) du réseau principal et de suivre, en phonie, les autres lignes.

1.7 Un outil au service du personnel de l'entreprise

La réussite d'une telle réalisation technologique repose essentiellement sur son acceptation par le personnel comme un progrès pour lui-même et pour la qualité du service public.

Ce résultat a été atteint à Besançon où des règles simples de déontologie ont été appliquées :

- le système n'a jamais été utilisé comme moyen -direct ou indirect- de répression ou de sanction à l'égard du personnel ;
- le radiotéléphone rompt l'isolement du conducteur qui doit pouvoir l'utiliser pour obtenir des renseignements divers n'ayant pas trait strictement à la marche du véhicule, lorsque le canal phonie n'est pas saturé (renseignements pour orienter un client dans la ville, information sur le service à effectuer le lendemain, etc...) ;

- on apporte une amélioration des conditions de travail résultant de l'amélioration de la régularité (maîtrise des temps de repos en terminus, répartition meilleure de la charge entre les voitures, diminution des récriminations de la clientèle, etc...) ;

- le système apporte des mesures objectives et statistiquement fiables pour instaurer un dialogue entreprise - personnel sur les temps de parcours ;

- il faut assurer dans l'entreprise un effort important d'information et de coordination inter-services à la mesure de l'effort de changement des habitudes entraîné par de nouveaux moyens de travail. En particulier un échange permanent doit s'établir entre les régulateurs du poste central et la maîtrise responsable hiérarchiquement des personnels de conduite.

1.8 Coût efficacité du système d'aide à l'exploitation de Besançon

Le coût d'installation, fin 1974, est ressorti à 2 millions de francs (PC + 96 bus + logiciel d'exploitation + installation, y compris radiotéléphone). Depuis cette date, la profonde évolution technologique de l'électronique ne permet pas une extrapolation brutale de ce chiffre en francs 82 (baisse extraordinaire du coût des composants, part plus importante de programmation).

Le coût d'entretien du système, soit :

- contrats de maintenance
- assurances, licences PTT
- réparations, pièces détachées, outillage
- quote-part des salaires de l'équipe de maintenance
CTB (un technicien supérieur + deux agents) correspondant à l'entretien du système

s'élève à environ 550 000 francs pour l'année 1980, soit donc 1,2% du budget total d'exploitation (hors amortissements). Le contrôleur en service au PC n'est pas compté, compensé par le contrôleur centre-ville qu'il aurait fallu en cas d'absence de système automatique.

Il est difficile de calculer des gains, en termes d'économie globale, en raison de la longue période de mise au point rendant très difficiles les comparaisons avant/après. On peut cependant en citer un : le réseau a stabilisé, voire même diminué, les kilomètres parcourus, tout en améliorant notablement les fréquences en heures de pointe (passage de 10' à 5' - 7') au détriment des heures creuses, ceci en tenant compte d'une manière beaucoup plus précise des temps de parcours et des charges. Or, une simulation de l'offre actuelle, avec les chiffres adoptés à l'époque pour l'élaboration des graphiques de marche (alors que les conditions de circulation se sont dégradées depuis) demande de 2 à 3 véhicules de plus en ligne, en moyenne sur la journée, soit de 600 à 900 000 francs/an de plus (y compris amortissement du matériel).

Il est donc possible d'affirmer qu'un tel système est bénéfique pour le compte de gestion, toutes dépenses cumulées (y compris les amortissements) avec les avantages supplémentaires suivants :

- la qualité de service s'est notablement améliorée : moins de surcharges en heures de pointe (bien que le nombre de voyageurs continue à croître de 5% par an), diminution de la fréquence en heures creuses passée inaperçue ;

- la savoir-faire de l'entreprise sur la gestion de son offre kilométrique s'est considérablement accru ;

- les conditions de travail du personnel ne se sont pas détériorées, malgré l'apparition d'une clientèle plus exigeante et plus nombreuse, le découpage des services agents plus contraignant, la dégradation des conditions de circulation, grâce à une répartition plus homogène de la charge entre bus, un meilleur respect des temps de repos au terminus, une plus grande satisfaction de la clientèle amenant des rapports moins crispés.

2. Un système intégré à Caen : des moyens modernes d'aide à l'exploitation des transports publics et à la circulation générale

L'agglomération de Caen (195 000 habitants) est depuis de nombreuses années pilote en matière de développement des transports collectifs dans le cadre d'une collaboration intercommunale établie par le Syndicat Mixte des Transports en Commun de l'Agglomération Caennaise (17 communes et le Département du Calvados).

Cette volonté politique s'est traduite, comme à Besançon, par un plan de circulation volontariste accordant de nombreuses priorités de toute sorte au transport public et a conduit à la signature avec l'Etat d'un contrat de développement des transports collectifs. En contrepartie de l'aide de l'Etat, le Syndicat Mixte s'engageait à réaliser tous les aménagements d'espace, de circulation, d'exploitation aptes à améliorer considérablement la quantité et la qualité de l'offre de transport public. Parmi ces aménagements nous retiendrons :

- la modification de la géométrie des voies et des sens de circulation avec la création de 3 km de couloirs réservés (dont la traversée du secteur piétons)
- l'organisation du stationnement
- la création d'une station centrale d'échanges avec aménagements spéciaux facilitant la correspondance.

D'autre part il existait depuis 1976 un système de régulation du trafic général, système étendu progressivement au fur et à mesure de l'avancement du plan de circulation. Le système d'aide à l'exploitation du réseau de transports géré par la Compagnie des Transports de l'Agglomération Caennaise (C T A C, filiale du groupe TRANSEXEL) devait à la fois bénéficier et tenir compte de cet environnement pour se développer.

Nous allons successivement aborder les deux sujets : brièvement le système de régulation du trafic général, et les originalités développées par le système d'aide à l'exploitation en cours de mise en exploitation sur les 130 véhicules du réseau.

2.1 Un système de régulation générale du trafic

La ville de Caen a été pratiquement détruite en 1944 et sa reconstruction lui a donné des axes de circulation largement dimensionnés et des espaces publics mettant en valeur les perspectives architecturales conservées malgré les destructions ou aménagées lors de la reconstruction.

De 1976 à 1979 la ville de Caen a mis en place un nouveau plan de circulation et une régulation centralisée de trafic urbain : 120 carrefours sont asservis à un ordinateur Mitra 15 qui assure la meilleure fluidité du trafic en adaptant le plan de feux prédéterminé à la situation du moment.

Parmi ces carrefours environ 45 sont équipés de manière active, c'est-à-dire peuvent accorder une priorité particulière à un véhicule de transport en commun muni d'un dispositif émetteur adapté.

Ces 45 carrefours équipés de système de détection représentent au total 80 priorités, compte tenu des sens de parcours.

Le principe de prise en compte des bus consiste à détecter le véhicule en amont (jusqu'à 200 m) du carrefour, de lui assurer le feu vert, soit par une prolongation de la phase verte, soit par un raccourcissement de la phase rouge, et de rétablir, après son passage, un cycle normal.

Le système de détection des véhicules retenu est composé d'un émetteur sur le bus et d'un récepteur au niveau du carrefour utilisant le principe de la propagation rectiligne des hyperfréquences, le classant parmi les systèmes "actifs";

comparativement aux systèmes "passifs" également en service à Caen, tel le champ d'une boucle magnétique enterrée qui est modifiée par la présence d'un bus dans sa station.

Notons enfin que plusieurs cas d'utilisation de ce système existent à Caen. Ils sont repérés type A à D dans le tableau ci-après.

D'autre part, une autre expérimentation s'appuyant sur le même principe de détection des véhicules prioritaires, mais actionnant des feux spéciaux bus, a été réalisée fin 1979 à Caen : il s'agissait d'assurer la sécurité de tourne à gauche des bus situés dans leur couloir réservé à droite de la chaussée, tout en minimisant les temps de franchissement du carrefour.

TYPE D'UTILISATION DES COMMANDES DE FEUX PAR LES AUTOBUS			
Type	Nombre de carrefours	Nombre de priorités	Configuration d'utilisation
A	38	73	autobus circulant dans le trafic général, la priorité accordée est la plus large possible en fonction de la circulation générale
B	4	4	autobus circulant sur bande réservée à l'approche de carrefour isolé à glissement de phases : la priorité peut être absolue
C	2	9	autobus en station, en amont d'une ligne de feux ; la priorité est absolue en début et fin de cycle, notamment dans le cas de carrefours reliés au système de gestion centralisée équivalent à un départ avancé
D	1	1	autobus circulant sur bande réservée à l'approche de carrefour isolé à cycle fixe : la priorité est absolue en début ou fin de cycle équivalent à un départ avancé

2.2 Un système d'aide à l'exploitation décentralisé

Les composants embarqués à bord des 130 autobus du réseau de Caen permettent une gestion décentralisée de la progression de ces derniers dans la circulation générale.

Ce système embarqué permet en effet de situer à tout moment le bus sur la ligne, par rapport à son trajet et son horaire théoriques. Il suffit pour cela d'y enclencher une cassette programmée par ligne et par service.

L'élément essentiel de cette cassette est sa mémoire : un micro-processeur programmé avec les caractéristiques particulières de chaque ligne et de son horaire. Relié à un capteur de tours de roues, pour évaluer la distance parcourue, et à un capteur du déverrouillage des portes, pour signaler les arrêts, il enregistre l'horaire réel de parcours et le compare à l'horaire prévu, ce qui lui permet donc de déterminer les avances ou retards éventuels. Ces données sont automatiquement transmises, par radio de bord, au poste central du réseau CTAC. Celui-ci n'enregistre que les anomalies, sur un grand synoptique "analogique" : un écran vidéo fait apparaître chaque bus en circulation, avec sa position sur la ligne qu'il dessert, matérialisée par un point de couleur différente, selon qu'il est en retard, à l'heure ou en avance.

L'avantage du système d'aide à l'exploitation est de permettre au poste central de modifier sans délai, par radio, les consignes du conducteur.

Dans la pratique, comment sera utilisé le système d'aide à l'exploitation ?

Le matin, en prenant le volant, le conducteur engage dans le boîtier embarqué son badge personnel codé. Le matricule magnétique est transmis à l'ordinateur central. Avantage : en cas de nécessité -et cette nécessité peut être personnelle ou familiale - ce procédé permet un appel radio immédiat et direct à l'intéressé. Sans perdre de temps à rechercher au tableau de service quel bus et sur quelle ligne conduit Untel à telle heure...

Le conducteur enclenche également la cassette-mémoire dont la "puce" a enregistré le descriptif détaillé du service de son bus pour toute la journée. Pour l'ordinateur central, c'est l'équivalent en langage informatique de la "planchette".

Au terminus de départ de la ligne, la cassette déclenche un top sonore d'avertissement à deux minutes de l'heure de mise en route, puis un second top à l'heure précise. La régularité maximum du service exige que le bus ne commence pas par prendre du retard ou de l'avance dès le début de son parcours.

En cours de route, une ligne lumineuse plus ou moins longue visualise les retards -en vert, à partir de 3 minutes- ou les avances -en rouge, à partir d'une minute. Sur l'écran du système embarqué, dix caractères affichent également le nom de la prochaine station principale de la régulation électronique. Ceci pour permettre au conducteur de vérifier... que sa cassette-mémoire correspond bien à la ligne qu'il dessert : une erreur dans le choix ou l'étiquetage de la cassette serait ainsi rapidement décelée.

Le soir, le dernier conducteur enlève la cassette-mémoire et la dépose au poste central avec sa planchette.

Dans le cas d'une déviation sur le tracé d'une ligne, une procédure est prévue pour déconnecter, par touches, la cassette-mémoire, et pour la recalculer ensuite dès le retour au parcours habituel. Les déviations établies pour plus d'une semaine seront enregistrées sur les cassettes-mémoires de la ligne concernées.

2.3 Un meilleur service offert au client

L'objectif premier du système d'aide à l'exploitation est de permettre à tous les bus de passer à l'heure exacte dans toutes les stations. Donc d'améliorer le service fourni par la CTAC à ses clients. Pour cela, la console embarquée informe instantanément le conducteur visuellement : une ligne lumineuse, rouge pour l'avance ou verte pour le retard, s'allonge plus ou moins sur la façade du boîtier. Elle se déclenche à partir d'une minute d'avance ou de trois minutes de retard sur l'horaire. Hélas, cette visualisation ne permet pas pour autant d'accélérer dans un encombrement.

La même information est transmise instantanément au poste central, ce qui accélère son intervention en cas de besoin.

En temps différé, l'enregistrement des avances et retards permettra à l'ordinateur central de sortir automatiquement une statistique des temps de parcours réels sur l'ensemble de la journée. La connaissance des temps de parcours exacts permettra à la CTAC d'affiner ses horaires, au plus près de la réalité moyenne des trajets, et des véritables conditions de travail des conducteurs sur chaque ligne.

2.4 Informer automatiquement la clientèle

Le système d'aide à l'exploitation permettra aussi d'informer directement -et exactement- les passagers en attente. Du moins aux principales stations, celles dotées d'un kiosque : les deux quais CTAC de la place de la Gare, les arrêts du boulevard Leclerc et du Théâtre. Des panneaux dont la mise à jour sera automatique indiqueront aux usagers dans combien de minutes passera le prochain bus de leur ligne, compte tenu des avances ou retards.

Informé de ces données en même temps que le conducteur, le poste central les transmettra en effet aux stations principales par un circuit téléphonique spécial. Ce circuit réactualisera les panneaux d'information destinés au public, pour lesquels un affichage magnétique a été choisi de préférence à des diodes L.E.D. moins lisibles. Un prototype de ce système, développé par l'entreprise caennaise Electrel, a été présenté au stand CTAC lors de la récente foire de Caen.

Lorsque le Système d'Aide à l'Exploitation sera opérationnel, tous les bus du réseau caennais auront la même heure. Par les horloges embarquées, pilotées par radio sur la base-temps de l'ordinateur central, dont l'horloge-mère sera elle-même recalée sur l'horloge parlante tous les matins. Ce qui mettra définitivement fin à l'habitude et parfois exaspérante controverse avec le client râleur "qui-n'a-pas-la-même-heure". Des sondages ont en effet montré qu'une moitié des passagers des bus urbains n'avait pas de montre, et que, pour l'autre moitié, 15% seulement ont l'heure exacte.

2.5 Un pas vers la saisie automatique des données d'exploitation

C'est d'abord un moyen de calculer très précisément la consommation de gazole de chaque bus sur chaque ligne et, par déduction, de repérer les anomalies de fonctionnement du moteur avant qu'elles ne deviennent dangereuses. Et coûteuses.

En effet, l'ordinateur central enregistre chaque plein, avec le badge d'identification informatique du bus. Grâce au système, il enregistrera également le kilométrage au fur et à mesure de chaque parcours. Un simple calcul -programmé- permet d'obtenir un diagnostic de consommation kilométrique dont les variations seront un élément important des prévisions d'entretien. Pour le réglage ou le remplacement des pompes à injection, par exemple.

C'est aussi un outil de saisie de données statistiques pour le service marketing : l'enregistrement des montées et descentes de voyageurs détectées par les marches sensibles des bus, des oblitérations de tickets permettent de disposer de données fiables sur le trafic voyageurs pouvant être traitées automatiquement en différé.

3. Une réalisation évolutive : le système d'aide à l'exploitation de Lyon et son complément d'aide à la gestion

L'agglomération lyonnaise (1 165 000 habitants desservis) est la première de France en dehors de l'agglomération parisienne. Elle bénéficie également du plus grand réseau de couloirs réservés aux transports en commun : plus de 40 kilomètres dont 28 km à contre-sens intéressant 31 lignes de transport de bus et trolleybus. Des plans de circulation prenant en compte les transports en commun ont été mis en application sur la rive gauche du Rhône en avril 1973, puis en octobre 1974. Les travaux de construction du métro de 1973 à 1978 puis les extensions de la ligne B de 1979 à 1981 ont permis de créer un réseau de rues réservées aux piétons (et aux trolleybus dans la rue de la République entre l'Hôtel de Ville de Lyon et la Place des Cordeliers).

En plus de cette volonté de traiter favorablement la répartition de l'espace entre la voiture particulière et les modes économes en énergie que sont les transports publics et la marche à pied, un système centralisé de gestion de la circulation générale a été mis en place depuis l'année 1981 et son extension se poursuit actuellement : les résultats principaux ressentis par les transports publics ont été l'allongement des temps de vert sur les itinéraires parcourus par les transports collectifs et la création d'une onde verte efficace dans les couloirs à contre-sens de la circulation générale.

Enfin, des espaces ont été ménagés en plusieurs points de l'agglomération pour assurer efficacement et dans le plus grand confort pour les voyageurs les correspondances intermodales entre bus, métro et voitures (station Laurent Bonnevey à l'extrémité Est de la ligne A du métro) entre bus, métro, voiture individuelle, chemins de fer nationaux, autocars interurbains et piétons transitant d'un quartier à l'autre (centre d'échanges de Perrache, quartier de la gare SNCF Part-Dieu).

3.1 Un système modulaire

Le système mis en place à Lyon s'applique à une grande variété de lignes pour lesquelles les objectifs à atteindre et les caractéristiques d'exploitation sont très différents. L'adaptation des moyens d'aide à l'exploitation a été conçue pour appliquer la solution technique la plus simple au type de problème posé, et limiter par conséquent les coûts requis pour atteindre les objectifs.

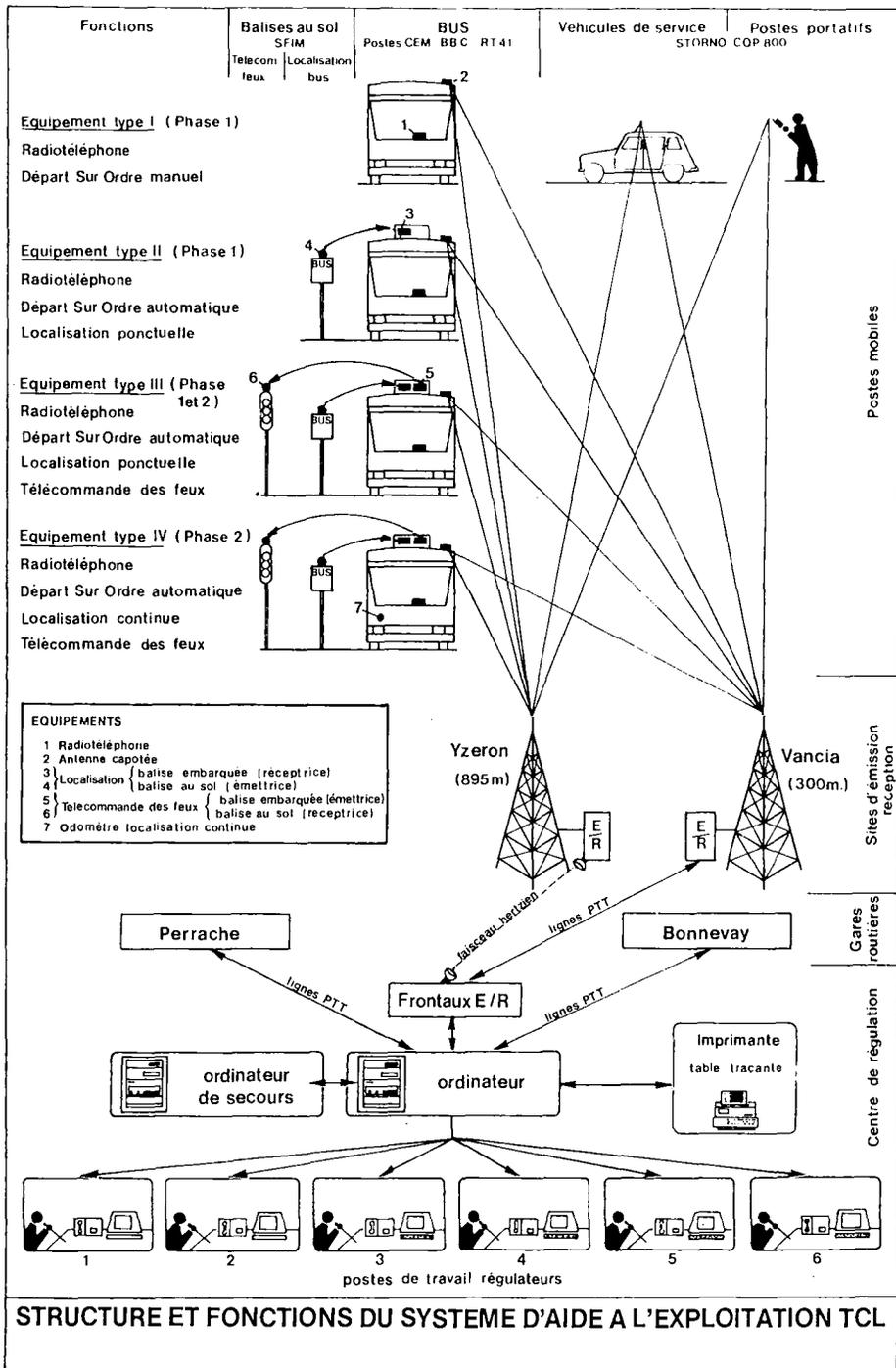
L'analyse du réseau a conduit à classer les lignes en trois familles :

- lignes à problèmes de sécurité mais circulant facilement
- lignes irrégulières circulant en zone moyennement difficile
- lignes à forte irrégularité (et à service dense) circulant en zone difficile et soumises à des perturbations importantes, nécessitant des opérations de remise en ligne.

La gradation des solutions techniques adoptées peut être grossièrement décrite ainsi :

- radiotéléphone seul pour environ 10% du parc
- radiotéléphone et départ sur ordre (DSO) des terminus avec localisation ponctuelle des bus pour les lignes de difficulté moyenne représentant 60% du parc environ
- radiotéléphone DSO et suivi permanent de la trajectoire du bus pour environ 25% du parc.

Un poste de commande centralisé permet d'assurer la gestion avec un nombre de postes de travail variable en fonction du jour et de l'heure : il est prévu 6 postes pour 900 véhicules en période de pointe ; de nuit un seul poste de veille sera maintenu, pouvant être déporté sur un véhicule de service circulant sur le réseau.



STRUCTURE ET FONCTIONS DU SYSTEME D'AIDE A L'EXPLOITATION TCL

3.2 Une intégration de l'information des clients dans le bus, à terre et dans les gares routières et points principaux de correspondance

La sonorisation interne permet aux régulateurs d'informer les voyageurs : à tout instant, dans un ou tous les véhicules d'une ligne, d'un groupe de lignes ou du réseau, le régulateur du poste central peut communiquer aux passagers des informations sur les retards, les événements exceptionnels, les déviations éventuelles d'itinéraire, etc...

La gestion des gares routières a également été prise en compte. Rappelons que cette gestion est assurée en local par des systèmes informatisés autonomes donnant aux clients l'information sur les heures de départ des bus et commandant le départ effectif des bus.

Un des principes de base de l'implantation du système d'aide à l'exploitation a été la prise en compte totale de l'ensemble de l'exploitation actuelle. Cette volonté inclut bien sûr la coordination de tout le réseau de surface (unités de contrôleurs, brigade d'intervention) mais aussi l'intégration des deux gares routières de Perrache et de Laurent Bonnevey. Celles-ci conservent leurs propres dispositifs mais sont prises en compte par le système à l'aide de liaisons spécifiques.

A la gare Laurent Bonnevey, les ordres de départ sont donnés à bord des véhicules. Des balises situées aux entrées et sorties de la gare rapatrient vers le centre de régulation l'identification et les mouvements des véhicules (arrivées-départs). L'arrivée des rames de métro est aussi transmise au centre de régulation afin d'assurer la correspondance avec le départ des lignes de bus de banlieue à moyenne ou faible fréquence.

L'intégration de la gare routière de Perrache est plus délicate. La gestion des départs, la circulation des bus urbains à l'intérieur de la gare, ainsi que tout le dispositif d'information des voyageurs continueront pendant quelques années encore à être commandés localement par le régulateur de la gare grâce au système informatique en place. En première phase, le système d'aide à l'exploitation connaîtra les arrivées et départs des véhicules par l'intermédiaire des balises de localisation, et une liaison téléphonique directe entre le centre de régulation et la gare routière permettra la coordination des deux systèmes. En deuxième phase, cette liaison sera spécialisée et autorisera une interconnexion partielle des deux ensembles informatiques.

3.3 Vers une conception de l'exploitation assistée par ordinateur

Les réflexions du réseau de Lyon ne se sont pas arrêtées à la gestion en temps réel des réseaux de lignes d'autobus et de métro grâce à l'apport des matériels et techniques de traitement de l'information.

Les outils mis en place permettent de disposer de données fiables concernant la circulation des autobus et sont le point de départ d'une conception assistée par ordinateur des graphiques de marche des voitures. Il s'agit d'apporter aux techniciens spécialisés dans la confection des horaires une assistance pour la réalisation de toutes les tâches répétitives, comme certains calculs et algorithmes d'habillage des horaires et de confection des services-agent : au lieu d'effectuer une optimisation résultant plus de l'expérience acquise que de la méthode ou de l'imagination créatrice, ces techniciens disposeront d'un outil suffisamment puissant pour réaliser à la demande des variantes partielles ou complètes, sans perdre la maîtrise de la conception ni avoir le sentiment que la machine ou les procédures qu'elle contient prennent le pas sur l'intervention de leur créativité. Il va de soi que les fichiers sur lesquels ils seront amenés à travailler, horaires, correspondances entre lignes, distances inter-arrêt et temps de parcours (décrits par une moyenne et un écart-type) sont compatibles avec le système d'aide à l'exploitation dont ils sont en grande partie issus. Les matériels toutefois sont de taille

réduite, car la capacité de calcul requise n'est pas importante ; les organes de sortie comprennent des écrans graphiques pour le travail en interaction avec la machine, et des tables traçantes et une imprimante pour la sortie au net dans le "langage" traditionnel des bureaux des horaires sous forme de graphiques de ligne et de tableaux de service.

On aboutit ainsi à un résultat qui permet de passer au-delà des simples données de programmation du service. Le tableau de roulement du personnel de conduite peut être réalisé de façon prévisionnelle et mis en mémoire dans une machine reliée à chacune des inspections de rattachement. Les mises à jour se font directement par intervention des agents de maîtrise qui en forment l'encadrement : on leur offre un outil qui les dispense de toute une série de manipulations d'imprimés et de documents administratifs, et leur permet d'effectuer une saisie des attachements réels par confirmation des services prévisionnels dans la plupart des cas, les exceptions étant seules à introduire dans la machine dans leur intégralité. Les documents écrits ne sont alors que des copies d'écran, résultant elles-mêmes d'une édition des données par exception, à la demande. On mesure le chemin parcouru par l'introduction de ces méthodes de travail : le temps gagné sur les tâches administratives par l'encadrement peut être employé à cette mission essentielle de responsable hiérarchique et au rôle important de gestionnaire décentralisé de la production qui reviennent aux agents de maîtrise. Cette application est en cours de généralisation dans le réseau de Lyon et a rencontré un succès total auprès des utilisateurs qui ont été associés depuis le début à sa conception et à son développement.

CONCLUSIONS

Nous avons survolé ce que la recherche et le développement chez Transexel en matière d'informatique d'exploitation ont permis de réaliser au cours de ces dernières années. L'introduction de ces techniques nouvelles et leur application dans un contexte variant d'une agglomération à une autre a montré la valeur de la démarche expérimentale qui caractérise tous les progrès industriels et organisationnels dans les transports. En effet l'on a besoin d'une mesure des résultats de l'action et l'assistance de l'ordinateur apporte à l'homme, si elle est faite intelligemment, une clarification des données multiples et variées de l'activité de transport et de son environnement. Mieux informé et de façon plus précise, il agit mieux et plus vite. Les résultats obtenus sont exploités plus rapidement et l'on a créé ainsi une dynamique de progrès à l'intérieur même de l'entreprise. Les résultats en sont un meilleur service offert à la clientèle, et une amélioration de la productivité industrielle et sociale.

Mais il y a plus. Ces développements montrent l'efficacité d'une collaboration étroite entre constructeurs et exploitants pour la mise au point de systèmes avancés : la conception est effectuée en commun, la réalisation se fait de manière adaptée aux conditions futures d'exploitation, la mise au point et la mise en route permettent d'effectuer les corrections que seule l'expérience de l'exploitant permet de réduire au minimum. Le développement technologique en résultant peut être transféré dans les meilleures conditions par le constructeur qui dispose d'un partenaire lui offrant à la fois un champ d'innovation et une vitrine d'exposition pour ses réalisations.

Enfin, et c'est sans doute un point fondamental pour le renforcement du potentiel d'innovation d'un secteur comme celui des transports urbains : la liaison étroite qui existe entre les réseaux gérés par un même groupe de sociétés de service du type de Transexel pour la France ou d'ATE pour les Etats-Unis d'Amérique permet de réaliser une osmose permanente entre les secteurs où se manifestent des besoins variés en technologie nouvelle : l'expérience de l'un est suivie par les autres, les idées se confrontent au sein de comités spécialisés, techniques, organisationnels etc... les hommes sont puissamment motivés par le défi permanent de l'amélioration du service public.

Innovation, progrès de la connaissance, progrès dans l'action doivent se rencontrer pour être plus efficaces : industriels, chercheurs, entreprises de transport sont promis à un avenir de progrès si leurs efforts convergent pour satisfaire les besoins de déplacement de leurs concitoyens.