

SYSTEMES D'AIDE A L'EXPLOITATION DES TRANSPORTS PUBLICS URBAINS

**RAPPORT
DE SYNTHESE**

2812

Pour faciliter la lecture, l'ouvrage a été décomposé en deux parties:

- Une première, exposant clairement les objectifs et les principes de fonctionnement des systèmes.
- Une annexe, plus technique, destinée aux personnes risquant d'être confrontées à la mise en œuvre d'un S.A.E.

Ce rapport a été rédigé, pour le Compte de la Direction des Transports Terrestres (D.T.T.) par Marc HOUPERT sous la direction de Pierre-Yves TEXTIER du département Réalisation et Exploitation du CETUR.

Ont apporté leurs conseils et leurs expériences:

Monsieur AMAR de la RATP.

Monsieur DAVID de la DTT.

Monsieur MARIOTTE de TRANSEXEL.

Madame MARIELLE de la RATP.

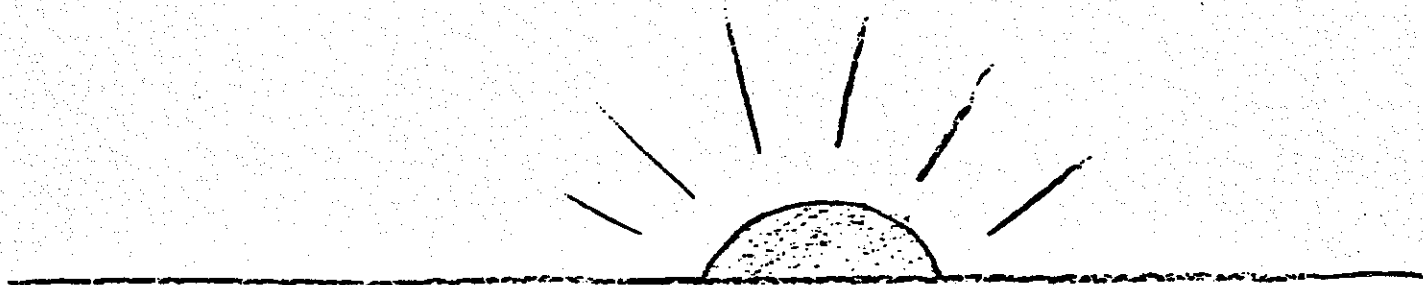
Monsieur TOUZALIN de la Société de Transport du Grand Angoulême (STGA).

SOMMAIRE

	Page
Introduction	5
I Objectifs des Systèmes d'Aide à l'Exploitation des transports publics urbains	9
II Les principes retenus	19
III Les différents systèmes	27
IV Résultats	35
V S.A.E. et économie d'énergie	49
 ANNEXE	 53
I Examen des notions de battement, ponctualité, régularité et vitesse	55
II Action sur les feux en faveur des véhicules de Transports Publics Autobus	61
III Les différentes configurations centralisées	70
IV Eléments pour l'élaboration d'un Cahier des Charges	75



INTRODUCTION



La plupart des pays dits « avancés » sont passés du développement quantitatif à l'aménagement qualitatif de leurs réseaux de routes urbaines.

Les besoins de mobilité motorisée — satisfaits principalement par la voiture individuelle — se sont traduits, pendant longtemps, par la création et l'aménagement de voies urbaines adaptées à la voiture. Depuis une dizaine d'années, la tendance s'est infléchie, pour tenir compte de nouveaux besoins de transport de la vie citadine; en outre, les soucis d'utilisation rationnelle de l'énergie amplifient cette orientation.

Si le XX^e siècle a pu être qualifié de « siècle de l'automobile » — laquelle remplit encore, et pour longtemps, un rôle considérable — il n'est pas douteux que cette suprématie quasi absolue en ville s'éteindra avec la fin du siècle.

D'autres moyens de transport — moins bien traités actuellement, tels que les Transports Collectifs, la marche à pied, les 2-Roues et les nouveaux modes à découvrir ou à améliorer (transports hectométriques, véhicules électriques, etc.) — verront, à n'en pas douter, leur rôle reconsidéré; par ailleurs, certains espaces publics urbains affirmeront leur caractère de lieux d'échange ou de repos, aux dépens de la fonction de transport.

En ce qui concerne les Transports Collectifs, ils trouvent leur principale justification dans l'impossibilité qu'a la voiture particulière de satisfaire l'ensemble des déplacements:

— pour tous les usagers: le nombre de personnes ne pouvant utiliser seules une voiture (enfants, personnes âgées, citadins dépourvus de permis ou de voiture) est beaucoup trop important;	— dans de bonnes conditions: la paralysie des chaussées, l'enva- hisement des trottoirs et de certains espaces publics par le stationnement ne sont guère admissibles.
---	--

Il convient de noter que ces deux justifications ne sont pas strictement économiques.

Une première conclusion s'impose: les agglomérations doivent disposer d'un transport collectif urbain capable d'offrir aux usagers une véritable alternative de déplacement, sauvegardant leur qualité de vie et ne faisant pas d'eux des « assistés ».

L'objectif principal de la Collectivité doit être d'organiser l'ensemble des transports urbains et non pas de se contenter d'assurer, par les Transports Collectifs, les déplacements de certains usagers défavorisés, en vue de permettre aux voitures restantes de mieux circuler du fait d'une voirie soulagée aux heures de pointe.

Compte tenu de l'importance croissante des interventions financières publiques nécessaires à cette organisation, la poursuite de cette politique doit s'accompagner de la maîtrise des déséquilibres financiers sans laquelle les résultats déjà obtenus risquent, à terme, d'être remis en cause. Parallèlement à l'augmentation de l'offre, il est donc nécessaire d'accroître notablement la

qualité des services offerts, pour amplifier la fréquentation et modérer la croissance des coûts d'exploitation, par une amélioration de l'utilisation des moyens mis en œuvre.

Actuellement, dans les entreprises de transport urbain, l'établissement des horaires théoriques, le suivi des conditions réelles de circulation des autobus et de la fréquentation reposent généralement sur des données recueillies en ligne de façon manuelle sous la responsabilité des agents de maîtrise. Le coût de ces recueils de données, notamment en personnel, en restreint l'emploi.

Cette situation conduit à une précision plus qualitative que quantitative du produit créé, ainsi qu'à une connaissance partielle de celui-ci, notamment aux heures de pointe, lorsque les autobus sont les plus utilisés.

Il est donc nécessaire de permettre au secteur des transports, de s'équiper des moyens technologiques comparables à ceux utilisés dans les autres secteurs industriels pour la définition et le suivi de la production.

Les Systèmes d'Aide à l'Exploitation sont l'un de ces moyens. Ils doivent être considérés — et donc conçus — tant comme outils d'exploitation et de gestion que comme outils d'acquisition de la connaissance, et donc d'aide à la décision. C'est dans cet esprit que ce rapport a été rédigé. Il a plus la prétention de se vouloir un recueil d'idées, un état d'esprit des problèmes, des enjeux, des moyens, des méthodes et techniques de prise en compte des Transports Collectifs, qu'une simple description de l'existant.

Ces systèmes de prise en compte des Transports Publics permettent également la détermination d'indicateurs objectifs qui — à n'en pas douter — auront des retombées sur les rapports au sein de l'entreprise de transport et entre cette dernière et la Collectivité Locale. En aucun cas, cependant, le système ne pourra trancher à la place de l'homme dans la négociation.

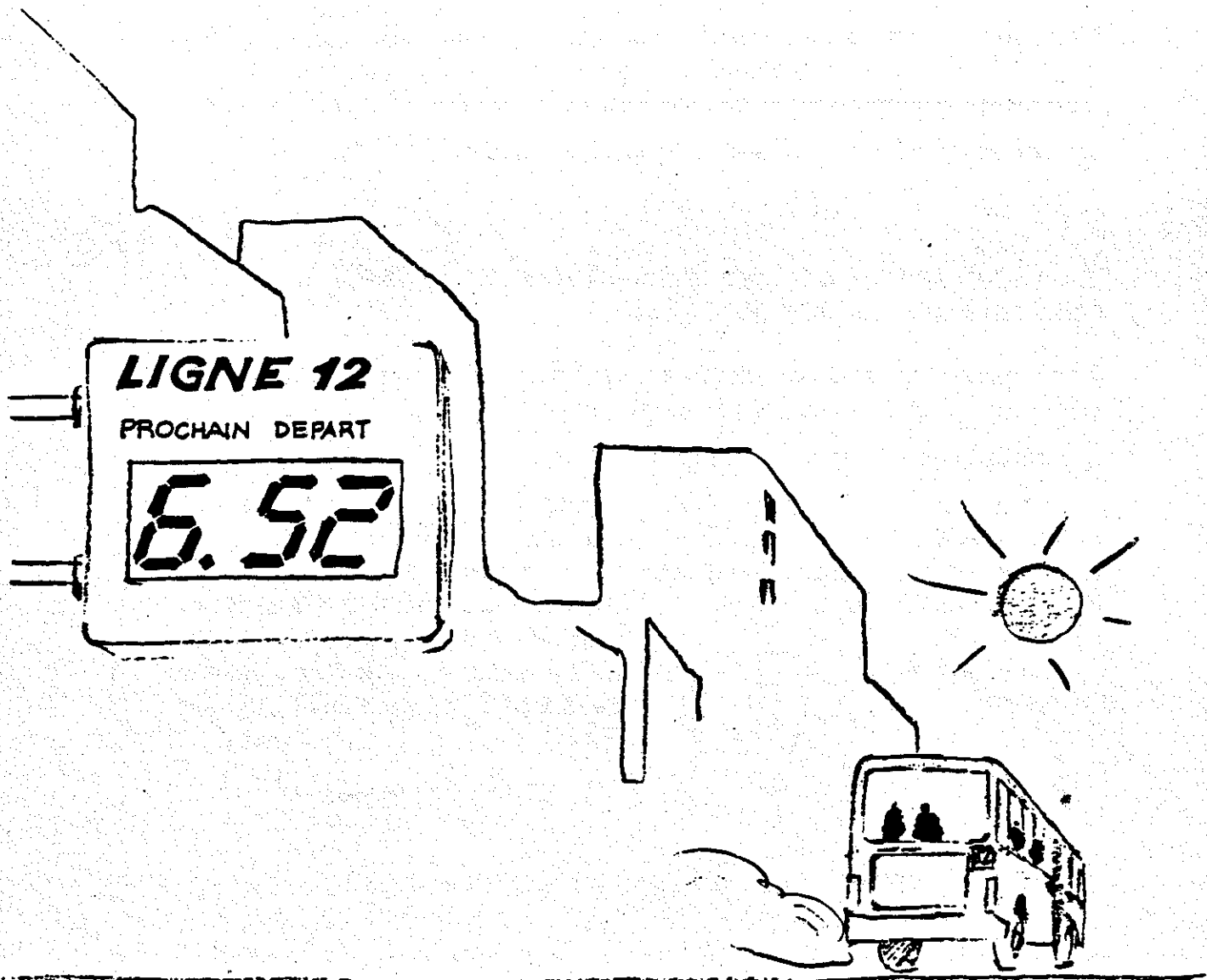
Le manque de recul historique vis-à-vis de ces nouveaux systèmes explique que ce document n'évoque que partiellement la portée de ces retombées.

Il faut noter que ces retombées seront insignifiantes si la mise en place d'un S.A.E. ne s'accompagne pas d'une volonté politique ferme en faveur des Transports Publics.

Le Système d'Aide à l'Exploitation n'est pas un remède miracle au service de l'exploitant ou des municipalités et, sans mesures d'accompagnement (aménagement de lignes ou de voirie) issues d'une volonté municipale, les S.A.E. peuvent malheureusement n'être qu'un alibi d'actions en faveur des Transports Collectifs.

I

OBJECTIFS DES SYSTÈMES D'AIDE A L'EXPLOITATION DES TRANSPORTS PUBLICS URBAINS



Il est important d'évaluer les conditions de déplacements des différents modes utilisant la voirie, tout particulièrement sur le réseau urbain de transport public où l'on essayera de mesurer la qualité de service des Transports Publics, caractérisée par les horaires constatés, ainsi que leur adaptation à la demande. Celle-ci étant difficile à cerner, la pré-étude en vue de la mise en place d'un Système d'Aide à l'Exploitation s'évertuera donc, en premier lieu, à qualifier les dysfonctionnements du réseau, dont la connaissance — faite essentiellement par enquêtes manuelles — n'est souvent que partielle.

De plus, dans de nombreux réseaux a été ressenti le besoin de mise en relation du personnel avec l'organisation du service.

On est ainsi passé de la camionnette circulant sur le réseau, pour échanger des informations avec le P.C. et les véhicules, à la phonie qui permet d'assurer une relation permanente avec le personnel. C'est elle — au travers du radio-téléphone — qui met en relation le personnel de conduite avec les organisateurs du service. La radio-téléphonie constitue donc la première phase opérationnelle des S.A.E. Il ne faut pas oublier que la phonie permettrait de réaliser la plupart des objectifs des S.A.E. si les moyens en personnel affecté à cette tâche et le nombre de canaux n'étaient limités.

Mais, gérer ces relations devient rapidement prohibitif; sur ce point, l'apport des S.A.E. sera essentiel, car ce sont avant tout des outils d'acquisition automatique de la connaissance visant à mieux connaître et à analyser l'existant.

On peut donc définir comme suit le premier objectif.

1° Comparer le service théorique avec le service constaté au travers du S.A.E.

Ayant mis en évidence les écarts, le S.A.E. sera utilisé comme **moyen d'action** visant à corriger les écarts inacceptables.

Les actions se font sur deux tableaux:

- modification de la référence, c'est-à-dire nouvelles définitions des horaires et, éventuellement, du tracé des lignes (antennes, etc.);
- aide à un meilleur respect de cette nouvelle référence; autrement dit le S.A.E. surveille en permanence l'adéquation du produit à la référence: si la référence satisfait la demande, le S.A.E. contribue à l'amélioration de l'image de marque des Transports Publics.

Agir simultanément sur ces deux tableaux constitue cependant une négociation difficile car elle consiste à trouver un compromis entre l'ambition et le possible. L'ambition est la définition de nouveaux horaires performants; le possible en est le respect. Le maintien de la référence est soumis à certaines contraintes qui sont les conditions externes d'environnement, telles que la circulation, et les conditions internes à l'exploitation, telles que ses moyens financiers et ses moyens en personnel.

Mais l'on peut agir sur certaines contraintes qui deviennent alors des variables, ce qui offre, bien entendu, des horizons nouveaux à l'ambition; par exemple, si l'on modifie la géométrie d'un carrefour critique en créant des voies nouvelles, l'augmentation de la capacité du carrefour peut se traduire par une augmentation notable de la vitesse.

Les objectifs suivants se définissent à partir de l'examen de l'affectation des ambitions et se situent à différents niveaux.

2° Améliorer l'offre pour les usagers

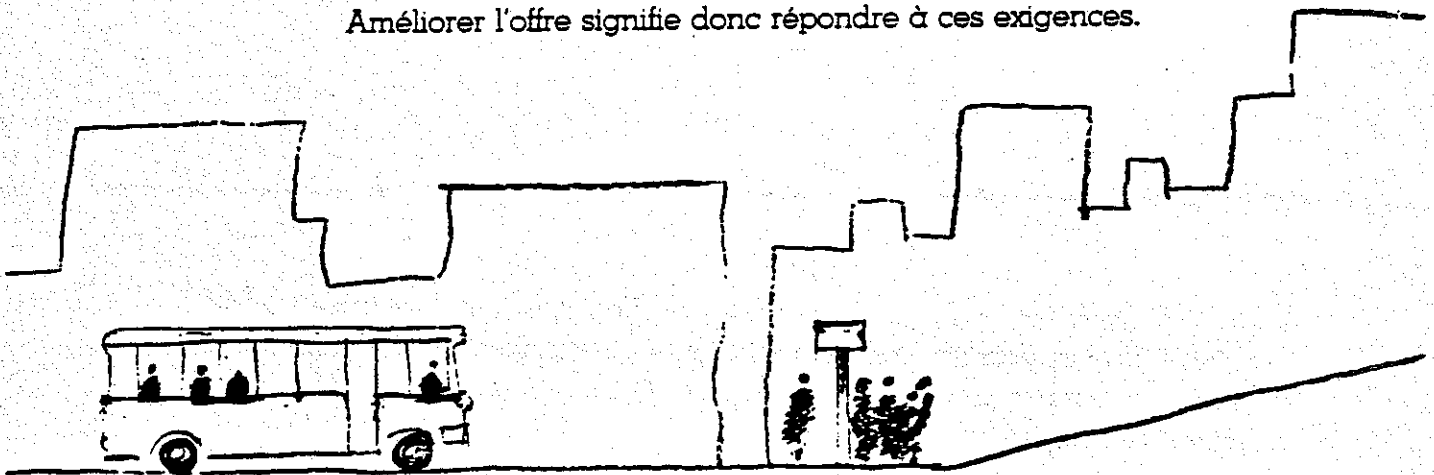
Les S.A.E. contribuent à une plus grande attractivité des Transports Publics dont les principaux acteurs ou bénéficiaires sont, in fine, les usagers.

Qu'attendent-ils d'un tel système?

Les enquêtes des gestionnaires de réseaux ont mis en évidence les exigences suivantes:

- réduction du temps d'attente;
- possibilité de monter dans le premier autobus qui passe, ce qui signifie contrôle et amélioration du taux d'occupation des véhicules et de leur régularité;
- diminution du temps de parcours, donc augmentation de la vitesse commerciale;
- fiabilité des horaires, ce qui nécessite un respect de la ponctualité et de la régularité.

Améliorer l'offre signifie donc répondre à ces exigences.



La prise en compte et le suivi des véhicules, l'action sur les feux laissent espérer un meilleur respect de la ponctualité et de la régularité, grâce aux consignes envoyées aux conducteurs (avance, retard) et aux priorités de franchissement aux carrefours.

Le simple fait de respecter l'heure de départ est fondamental pour le bon fonctionnement des lignes. Un véhicule partant en retard, accentuera son retard aux stations car il chargera un surplus de personnes venues dans la prolongation du temps d'attente. Les autobus suivants auront tendance, par contre, à prendre de l'avance — voire même à rattraper le retardataire, les stations étant dépeuplées.

L'importance de l'heure de départ, en particulier, a conduit la R.A.T.P. à concentrer ses efforts sur l'implantation de bornes de départ sur ordre.

De plus, l'augmentation des vitesses due aux mesures de priorité (sites propres, action sur les feux) peut être exploitée pour la refonte d'horaires à cadences plus rapprochées ou pour des prolongements de lignes, ce qui contribue directement à l'augmentation du confort et de l'attractivité de ce type de déplacements.

Le confort est également amélioré grâce à :

- la meilleure répartition des charges véhicules;
- la minimisation des arrêts aux carrefours;
- une meilleure information des usagers dans les véhicules (nom de la prochaine station,...) et aux stations (informations statistiques et dynamiques: durée d'attente du prochain véhicule, retard éventuel, etc.).

3° Contrôler le déséquilibre financier

La principale contrainte de toute entreprise de transport public est l'effort de financement demandé à la collectivité.

Le S.A.E., outil de gestion, de contrôle et d'optimisation des réseaux de transport, peut apparaître comme un élément de contractualisation entre les différents acteurs concernés: la Collectivité, le personnel d'exploitation et la direction de l'entreprise.

Le produit final, référence du système, est l'horaire des lignes. Sans S.A.E., il est difficile de mesurer l'écart entre ce que devrait être le service offert aux usagers et la réalité proposée. Aussi le jugement, en l'absence de S.A.E., est-il essentiellement qualitatif.

L'enregistrement du suivi des véhicules, l'exploitation de toutes les données fournies à partir des S.A.E. permettent une estimation plus objective et quantifiée de la qualité de service des transports collectifs.

De plus, l'optimisation de l'utilisation du potentiel matériel et humain — à produit constant — conduit à une diminution des coûts d'exploitation, donc du déséquilibre financier.

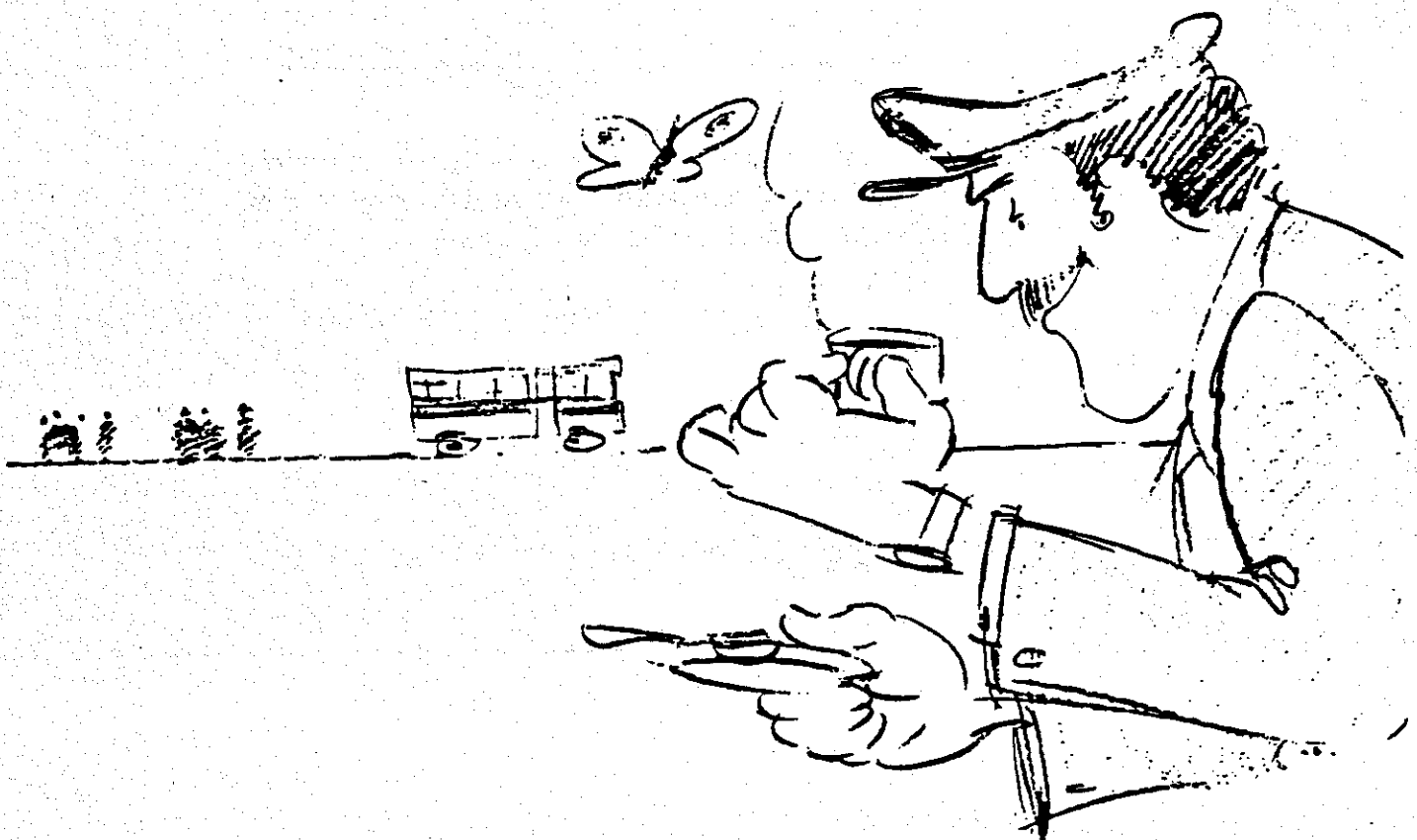
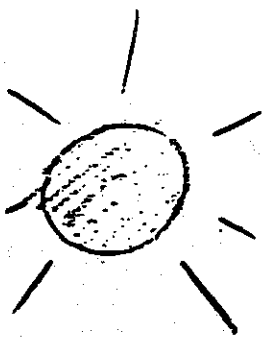
4° Améliorer les conditions de travail du personnel

Les informations temps réel et différé fournies à partir des S.A.E., la vitesse plus élevée, la ponctualité, la diminution du nombre des arrêts, la meilleure répartition de la charge peuvent être utilisées pour augmenter ou garantir les battements à certaines stations et aux terminus.

Les temps de battement sont un élément essentiel dans les tableaux de service. Ces tableaux, négociés une ou deux fois par an, sont difficilement remis en cause entre temps. Les S.A.E. devraient permettre aux différentes catégories du personnel une amélioration des conditions de travail.

a) Le personnel roulant bénéficie du respect des horaires, car cela lui permet :

- de prendre et de terminer le service à l'heure, notamment pour les relèves en ligne ;
- d'assurer les temps de pause et de repos aux endroits prévus.



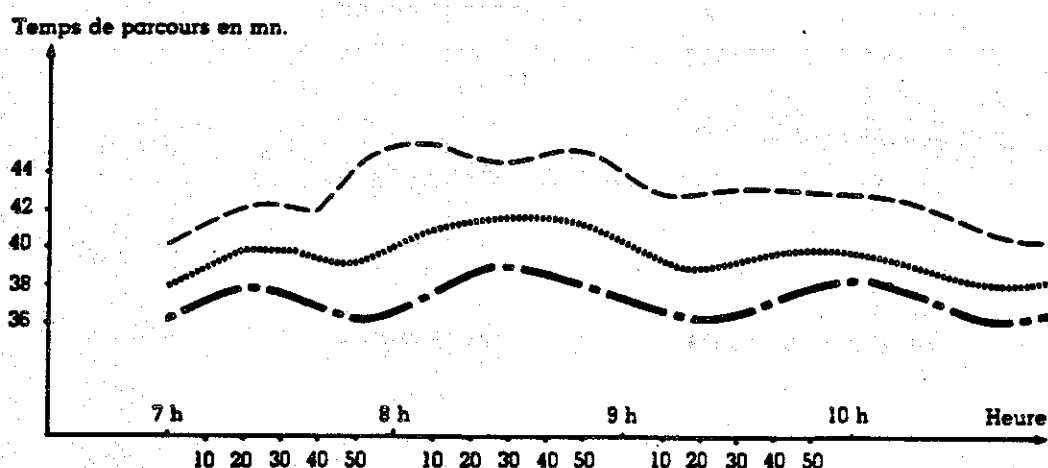
En outre, le suivi des véhicules en ligne permet d'assurer une certaine justice entre chauffeurs, grâce à l'enregistrement des temps de battement effectifs et à l'usage de cette connaissance dans l'affectation des chauffeurs aux services (roulement, etc.).

b) Les agents de maîtrise de contrôle; le S.A.E. leur fournit des informations précieuses sur l'état du réseau et des véhicules. Ayant la connaissance ou les moyens de connaissance, leurs possibilités d'action se trouvent accrues (déviations, mesures correctives d'horaires...) et leurs fonctions revalorisées.

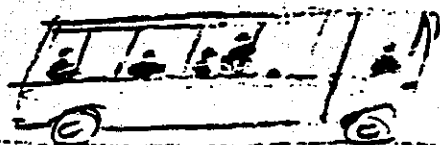
c) A l'atelier, les informations fournies permettent une meilleure intervention de dépannage.

d) Le Service de mouvements, chargé d'établir les tableaux de marche jouissent d'une connaissance **statistique** de leur réseau. Cela permet de faire la double stratification des trajets dans l'espace et le temps.

Pour chaque ligne et pour chaque tranche horaire de la journée correspondant à une situation caractéristique (heure creuse, heure de pointe, entrée ville...) le S.A.E. fournit les temps de parcours moyens avec leurs dispersions et, ce pour chaque tronçon de la ligne. Grâce à cette connaissance des temps de parcours sur chaque tronçon des lignes et par tranche horaire, les tableaux de marche peuvent être optimisés.



e) Le commercial exploite les informations statistiques (taux d'occupation, cadence) en vue d'une meilleure connaissance des besoins des usagers, d'où une redéfinition de l'offre satisfaisant de plus près la demande.



5° Augmenter la productivité de l'entreprise

Il est de coutume de représenter la productivité par un ratio. Selon les circonstances, on prendra, par exemple :

$$\frac{V}{K}, \frac{V}{H}, \frac{K}{H}, \frac{R}{D}, \frac{D}{K}$$

V = nombre de voyages/an

K = nombre de kilomètres/an

H = nombre d'heures de service/an

R = recettes annuelles

D = dépenses annuelles

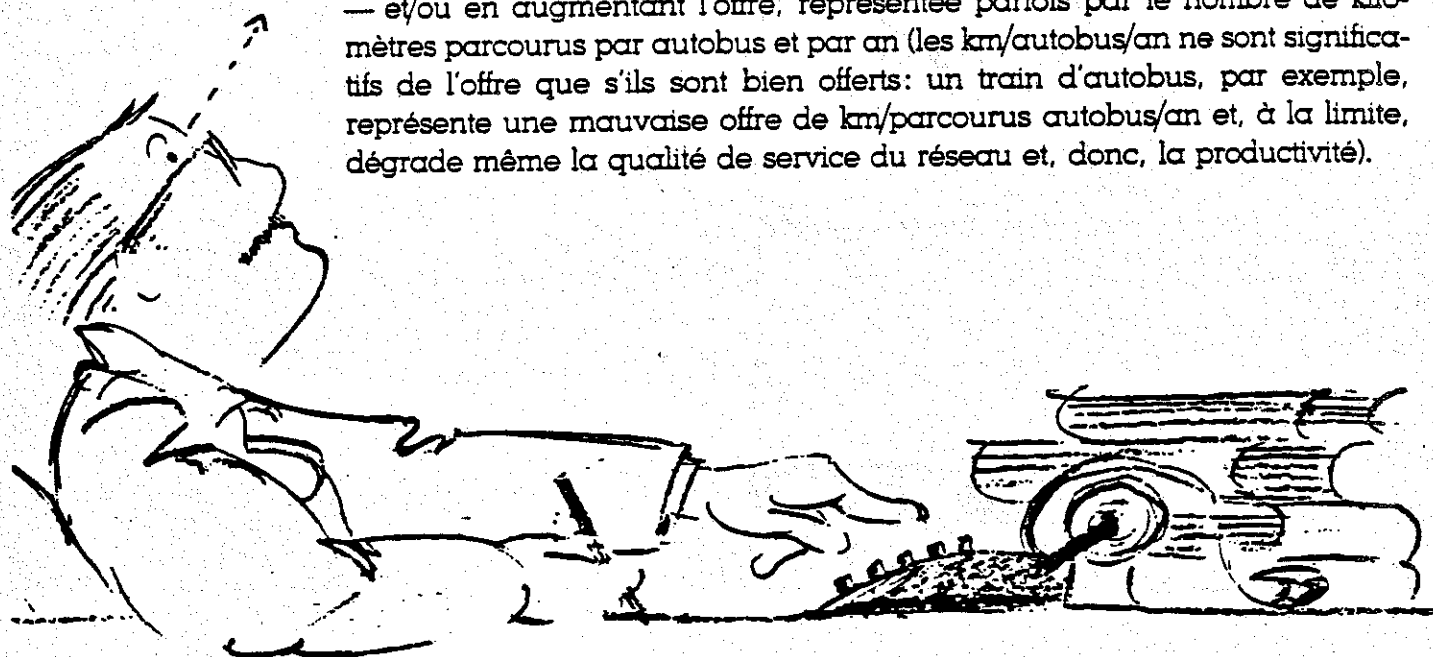
L'objet de ce paragraphe n'est pas d'examiner tous les ratios, mais quelques uns des critères généralement corrélés avec la productivité comme, par exemple :

- les coûts salariaux (conducteurs, personnel d'entretien et d'encadrement), représentant environ 70 % des dépenses;
- les coûts d'investissement et d'entretien des véhicules;
- les recettes;
- l'offre kilométrique.

Examinons quels sont les paramètres pouvant modifier les coûts d'exploitation des entreprises de Transports Collectifs.

Augmenter la productivité peut se faire :

- en réduisant les coûts d'exploitation;
- et/ou en augmentant les recettes;
- et/ou en augmentant l'offre, représentée parfois par le nombre de kilomètres parcourus par autobus et par an (les km/autobus/an ne sont significatifs de l'offre que s'ils sont bien offerts: un train d'autobus, par exemple, représente une mauvaise offre de km/parcourus autobus/an et, à la limite, dégrade même la qualité de service du réseau et, donc, la productivité).



a) Réduction des coûts d'exploitation

Le plus souvent les réseaux travaillant à moyens constants, l'objectif **ne sera pas** de réduire les coûts salariaux ni ceux d'amortissement, mais d'utiliser de manière optimale les moyens de l'entreprise.

b) Augmentation des recettes

Elle peut se faire de deux manières:

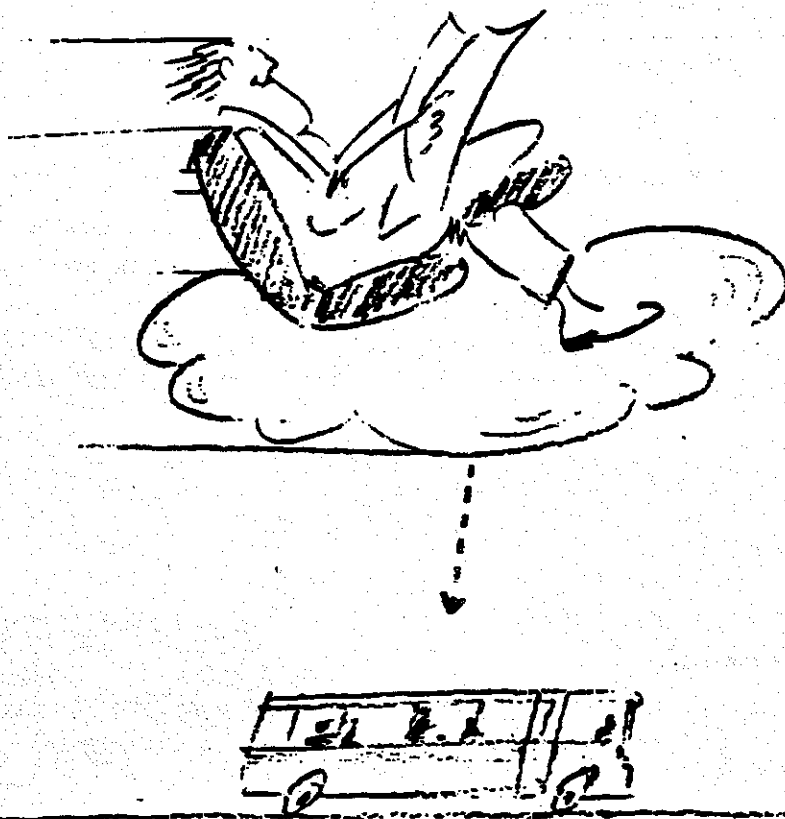
- par l'augmentation du tarif (à usage constant, c'est-à-dire en supposant négligeable les effets induits tels que la diminution de la fréquentation),

- par l'augmentation du nombre des usagers résultant des mesures dont la liste, non exhaustive, est la suivante:

- tarifications spéciales économiques: titres à vue, carte du 3^e âge, etc.;

- modification de la tarification comme, par exemple, une participation patronale;

- amélioration de la qualité de service offerte aux usagers: c'est sur ce point que le S.A.E. peut agir (amélioration de l'offre: cf. chapitre 1-2). En effet, les S.A.E. contribuant à mettre à la disposition des usagers actuels et potentiels un service adapté à leurs besoins, on agit à court terme sur l'image de marque de ce mode de déplacement — et, donc, sur l'attractivité des Transports Publics — ce qui conduit à l'augmentation de la fréquentation et, de ce fait, des recettes.



c) Augmentation du K/H

Comment peut-on agir sur ce ratio ?

- Par augmentation de la vitesse en ligne.

L'aménagement de sites propres, les mesures de priorité et d'organisation des feux ont pour effet d'augmenter la vitesse en ligne des véhicules. Cela permet de redéfinir les produits, par exemple, en prolongeant la ligne ou en proposant des fréquences plus élevées. Dans les deux cas, on augmente le nombre de km/autobus/an. Il est à noter que l'augmentation de la vitesse commerciale — à horaires égaux — permet une diminution de la taille du parc roulant affecté au service concerné, ce qui signifie une diminution des coûts de ce service, donc une augmentation de la productivité.

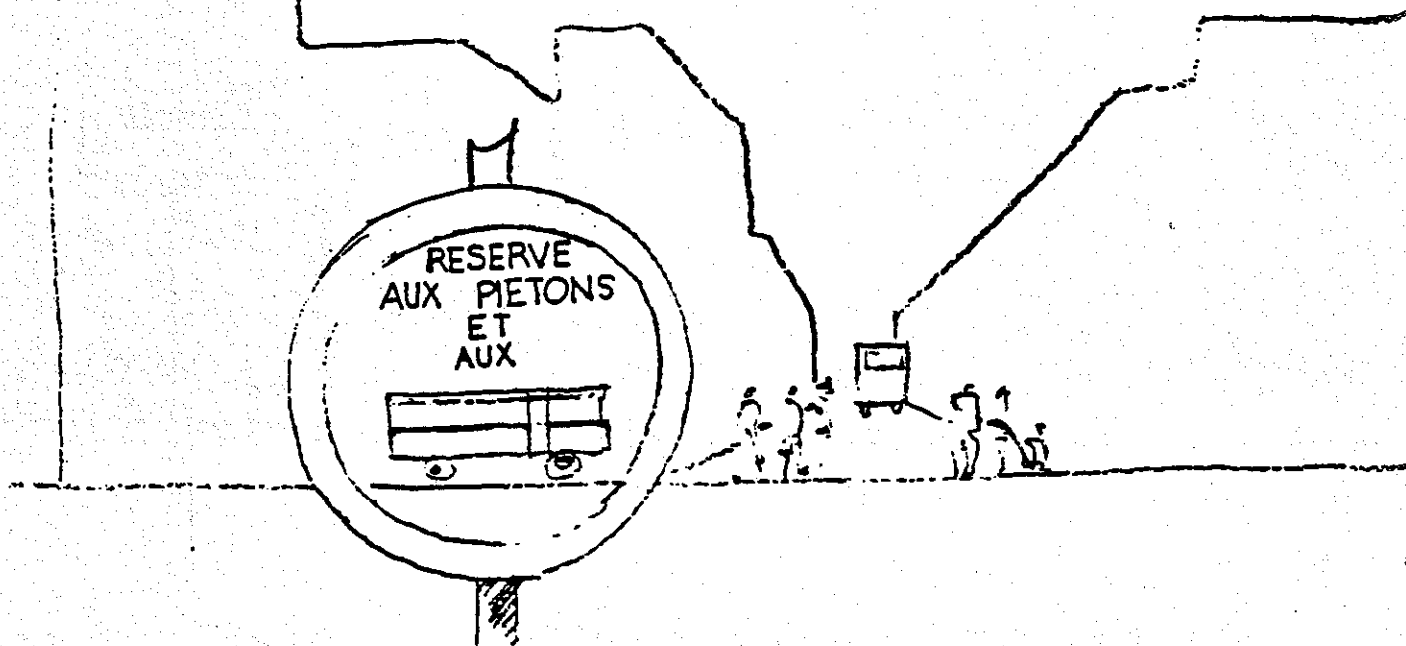
- Par réduction de la dispersion des temps de parcours amenant une diminution du temps de battement.

Sans suivi des véhicules et sans possibilité d'action sur leurs temps de parcours, les fluctuations des temps de parcours imposent des temps de battement importants, afin d'assurer l'heure de départ aux terminus. Sous ses hypothèses, les temps de battement sont « larges », car ils servent également à la régulation. Le respect en ligne de la ponctualité doit permettre une diminution des temps de battement aux terminus, — donc des temps de rotation — ce qui contribue à l'augmentation du ratio K/H.

6° Mettre à la disposition de l'exploitant un outil de négociation de l'usage sélectif de la voirie

L'enregistrement, tronçon par tronçon, de la progression des véhicules sur les lignes permet de sélectionner et de quantifier de manière précise et incontestable les points noirs avec les pertes de temps correspondantes.

Cette visualisation claire des difficultés en ligne peut être utilisée comme outil d'aide à la négociation de l'usage sélectif de la voirie, pour justifier, par exemple, l'emplacement des couloirs autobus ou l'aménagement de certains carrefours.



En conclusion, il faut noter que les gains pour le personnel, les usagers et la Collectivité sont parfois communs ou complémentaires et parfois exclusifs. Il convient donc de définir les bénéficiaires parmi les trois catégories précédemment énoncées.

Cette analyse préalable de l'affectation des gains attendus doit également servir à mieux définir les programmes fonctionnels et organiques du S.A.E.

Par ailleurs, il est intéressant de remarquer que l'augmentation de productivité se décompose en gains économiques directs et en gains sur l'attractivité des Transports Collectifs.

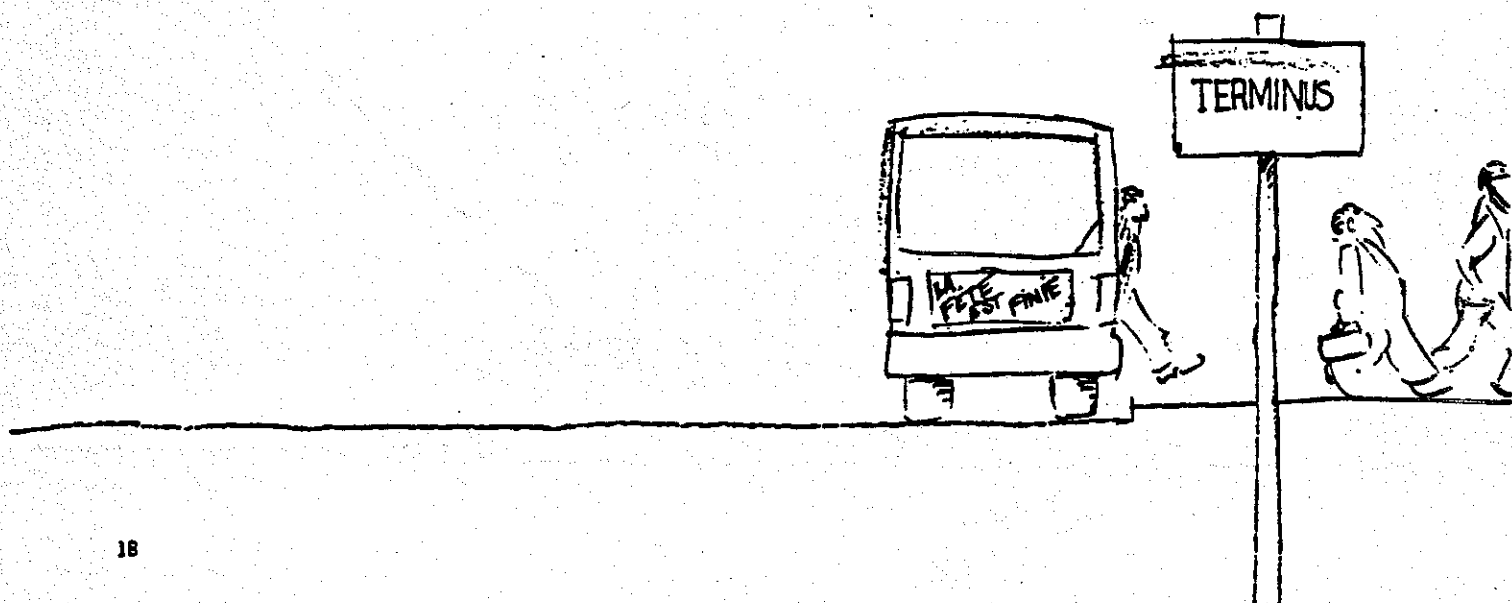
a) Gains économiques directs

Ils sont acquis pour la durée de vie des tableaux de marche lors du changement de référence. En effet, à chaque objectif précédemment explicité peut être attribuée une valeur (objectif quantifié) permettant d'estimer une diminution des frais d'exploitation ou une augmentation des recettes, conséquences d'une meilleure utilisation du potentiel matériel et humain. Ces gains doivent, pour avoir une certaine pérennité, correspondre à une référence « viable ».

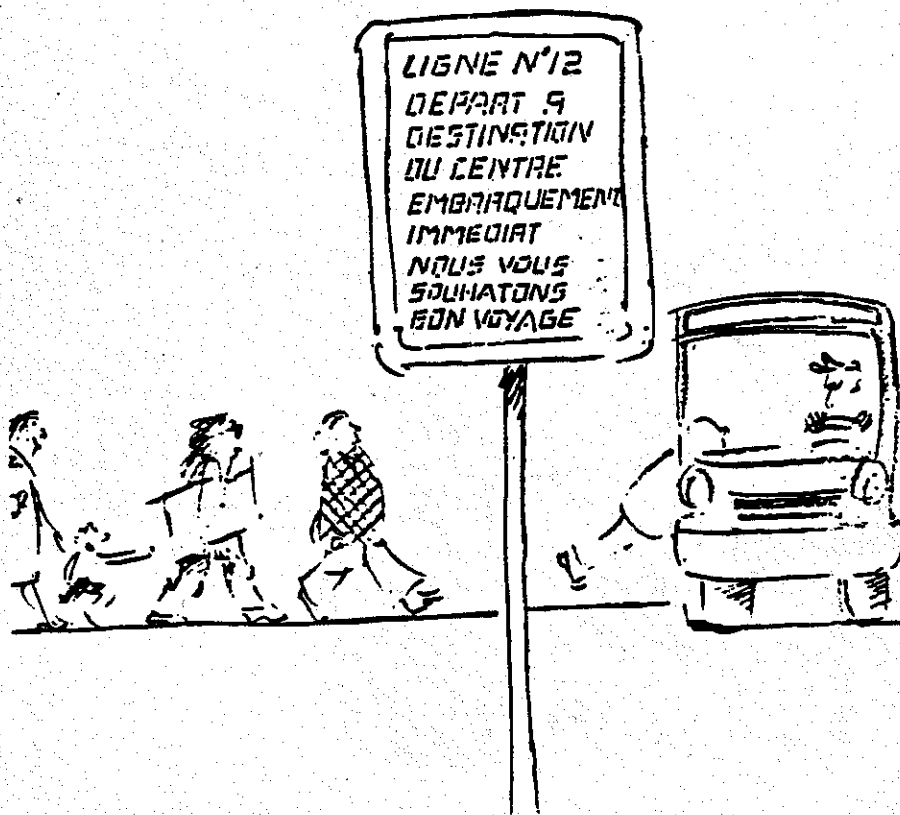
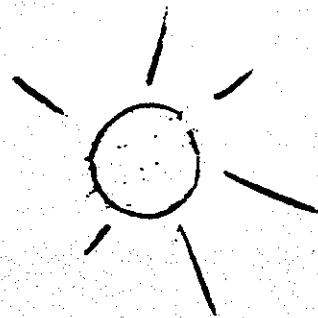
b) Gains sur l'attractivité du système ou sur l'image de marque

Ils sont obtenus par le respect de la ponctualité et de la régularité, par l'augmentation des vitesses, du confort (meilleure répartition des charges, moins d'arrêts) et de l'information des usagers aux stations et dans les véhicules.

Cette augmentation de la qualité de service, offerte au public n'est pas sans retour sur le gain économique très corrélé avec les recettes.



II LES PRINCIPES RETENUS



Après avoir défini les objectifs des S.A.E., un groupe de travail s'est réuni afin d'élaborer l'analyse fonctionnelle (ambition technique) et a ainsi déterminé une liste des principes permettant de cerner au plus près les objectifs du chapitre précédent.

Ces principes, présentés ci-après dans leur ordre d'importance, ont fait l'objet d'un Cahier des Charges dont un résumé est joint en annexe (point 5).

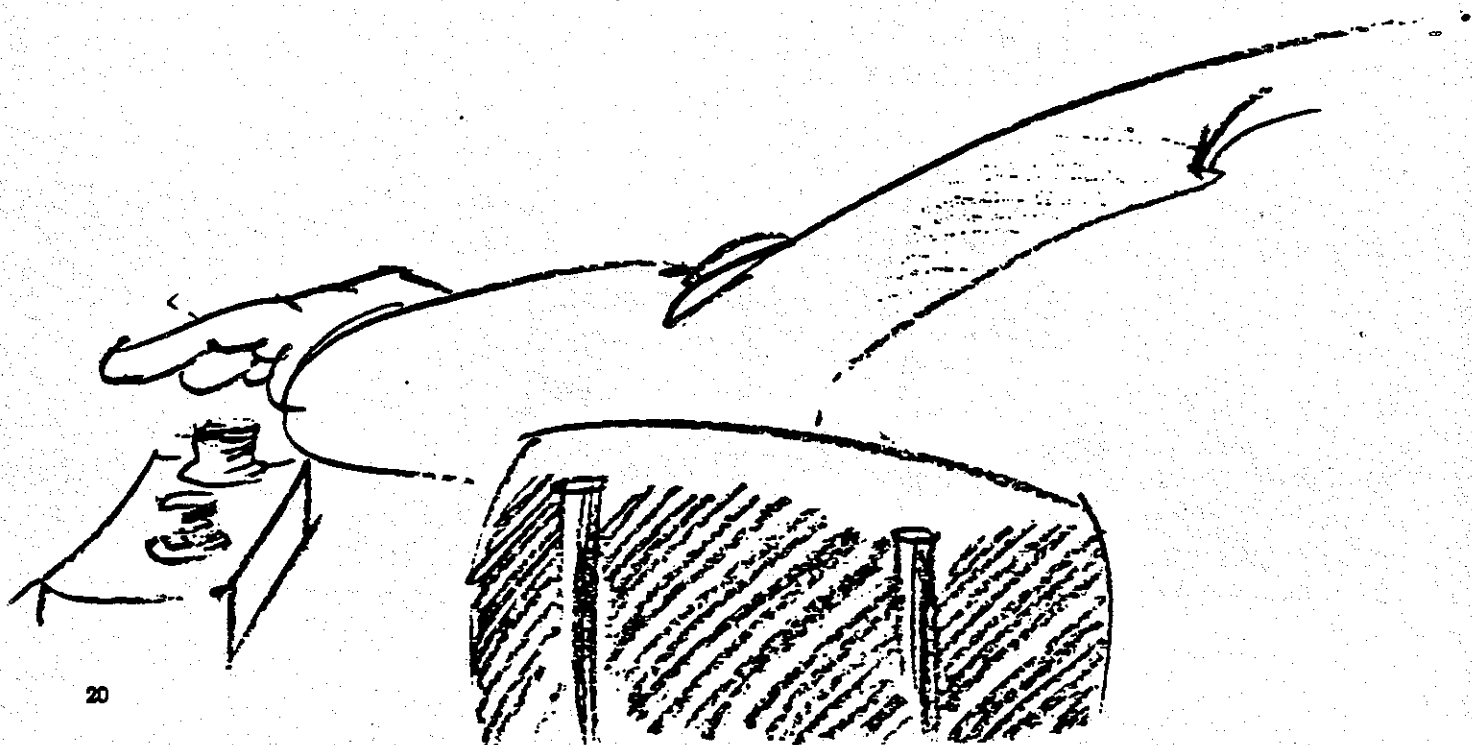
1° Dialogue permanent « véhicule-Poste Central »

Le mode de fonctionnement primordial est la phonie. En effet, il est fondamental qu'à tout moment un conducteur puisse parler avec les responsables d'exploitation. La réciproque est vraie pour un appel individuel ou général (consignes dans le cas d'une situation anormale, modification d'horaires, de relèves,...).

Un deuxième mode existe : la transmission de données.

Le dialogue se fait par l'intermédiaire d'un émetteur-récepteur radio, déjà nécessaire pour la phonie, mais complété par un micro-ordinateur embarqué dans chaque véhicule.

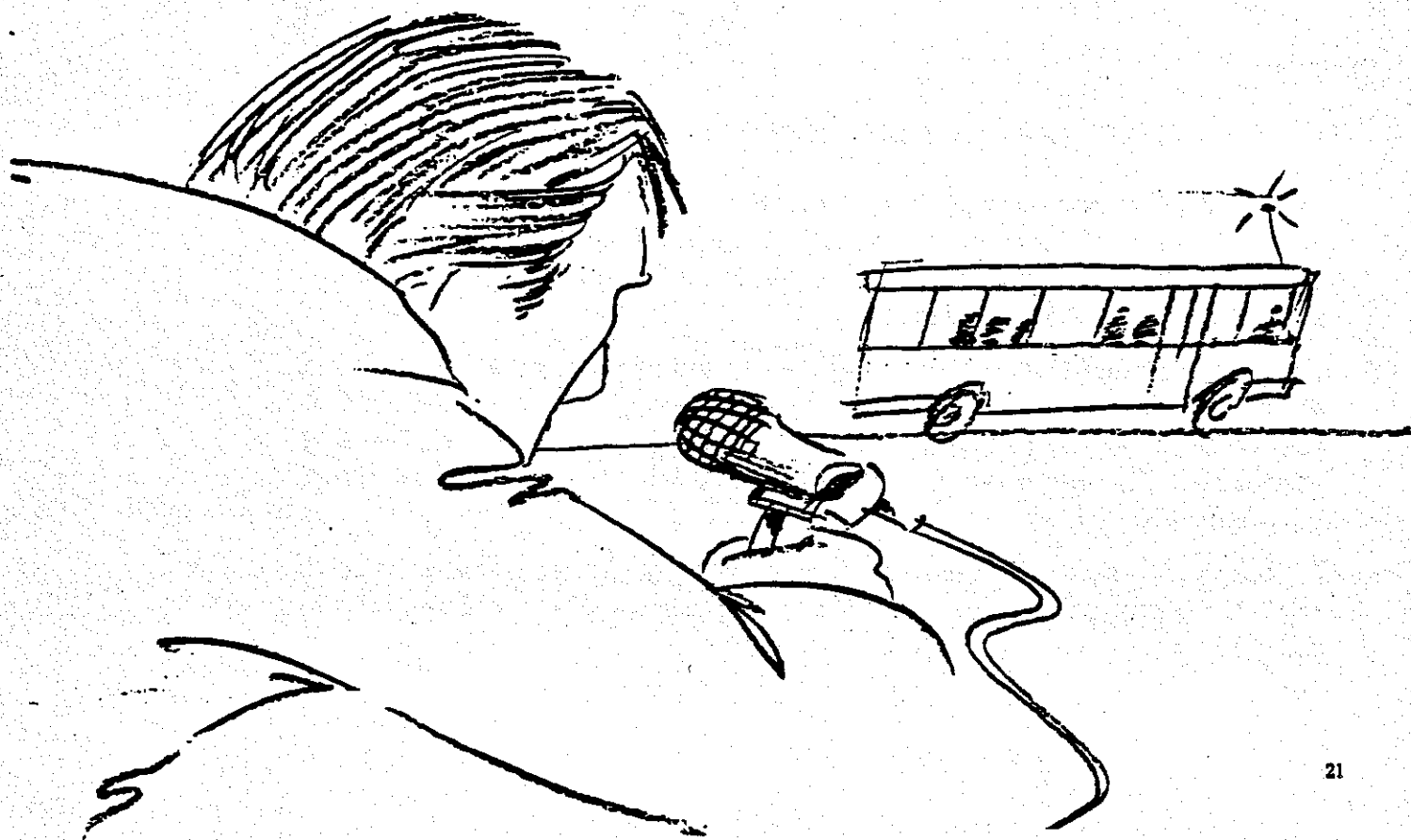
Afin de connaître la marche des véhicules la centrale peut interroger cycliquement chaque véhicule. En fait, le suivi des véhicules équipés d'un transmetteur de données se fait par voie hertzienne ; parmi tous les principes d'interrogation expérimentés à ce jour, le mode cyclique s'est avéré le plus performant.



En fait, il faudrait plutôt parler de mode pseudo-cyclique, un véhicule pouvant — si nécessaire — dialoguer avec la centrale en dehors de son interrogation cyclique. Ceci se fait grâce à l'insertion, dans la trame interrogative, d'appels généraux rapprochés, destinés à des transmissions urgentes telles que: demande de phonie, appels de détresse, passage aux points d'appels, etc. Lors de l'étude d'une ligne particulière, les véhicules en question peuvent également être interrogés plus fréquemment que les véhicules ordinaires.

Différents moyens de localisation existent: compteur de roues, boucles électromagnétiques, balises,... Ces informations de localisation ainsi que d'autres données (taux d'occupation, appel de détresse, incident mécanique, identification du chauffeur, demande de phonie, ordre de départ) sont échangées automatiquement (voyants ou touches lumineuses). Le suivi des véhicules permet la comparaison de l'horaire théorique et de l'horaire réel.

Cette comparaison est transmise aux chauffeurs, ce qui leur permet de rattraper des variations minimales. Certains écarts peuvent être corrigés par action sur les feux ou par ordre de départ retardé aux arrêts.

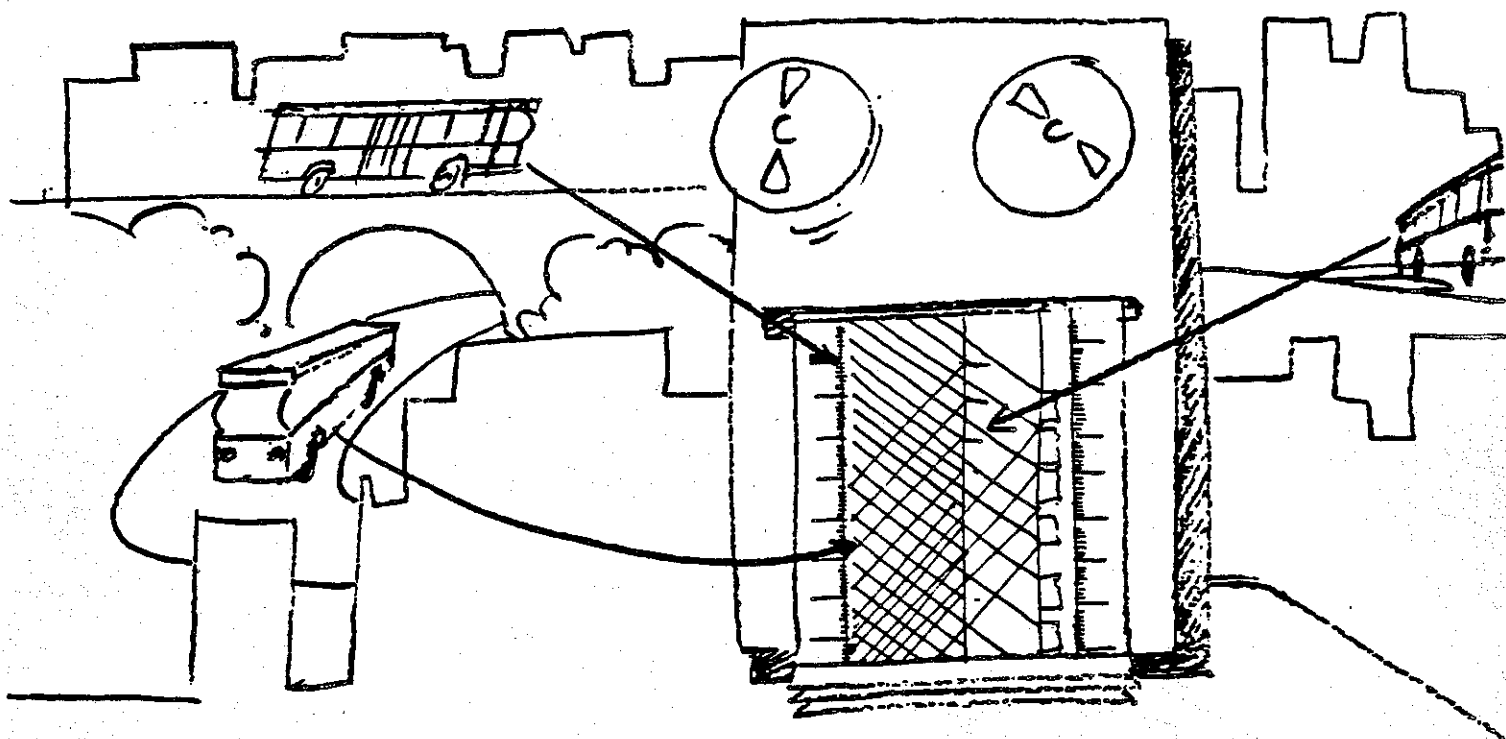


2° Connaissance du mouvement en temps différé

Le mouvement des véhicules n'est pas totalement dominé. Pour le **prévoir**, il faut d'abord le **connaître**, puis le **comprendre**. Cette première étape permet de concevoir la marche théorique des véhicules avec intelligence.

Les moyens à mettre en œuvre consistent à enregistrer automatiquement la marche réelle des véhicules pour en déduire les vitesses commerciales les plus probables, par tranche temporelle et par tronçon de la ligne.

Il faut donc localiser la position des autobus sur le réseau, stocker ces informations et les exploiter automatiquement pour étudier les moyennes, les dispersions des indices caractéristiques (étude de la ligne), les tranches horaires homogènes sur le plan des vitesses, etc.



3° Connaissance du mouvement en temps réel

Le contrôle, l'action rendue plus facile sur les situations dégradées et la prévision de ces dégradations nécessitent que la position de l'autobus soit connue, à tout moment, des régulateurs qui disposent d'une vision d'ensemble de la situation des lignes.

Ce contrôle temps réel peut paraître, en première approximation, comme étant un gadget non justifié. Il faut cependant remarquer que c'est ce que tentent de faire les contrôleurs sur le réseau, à l'aide de renseignements parcellaires. Le temps réel permet d'accroître leur connaissance et, donc, leur efficacité.

L'affichage de la position des autobus en temps réel au poste central de régulation dans les autobus, complète la disposition « temps différé », en permettant :

- d'accroître l'efficacité des personnels de contrôle;
- d'aider le chauffeur à régler la marche de son véhicule, en évitant des passages en avance, par exemple.

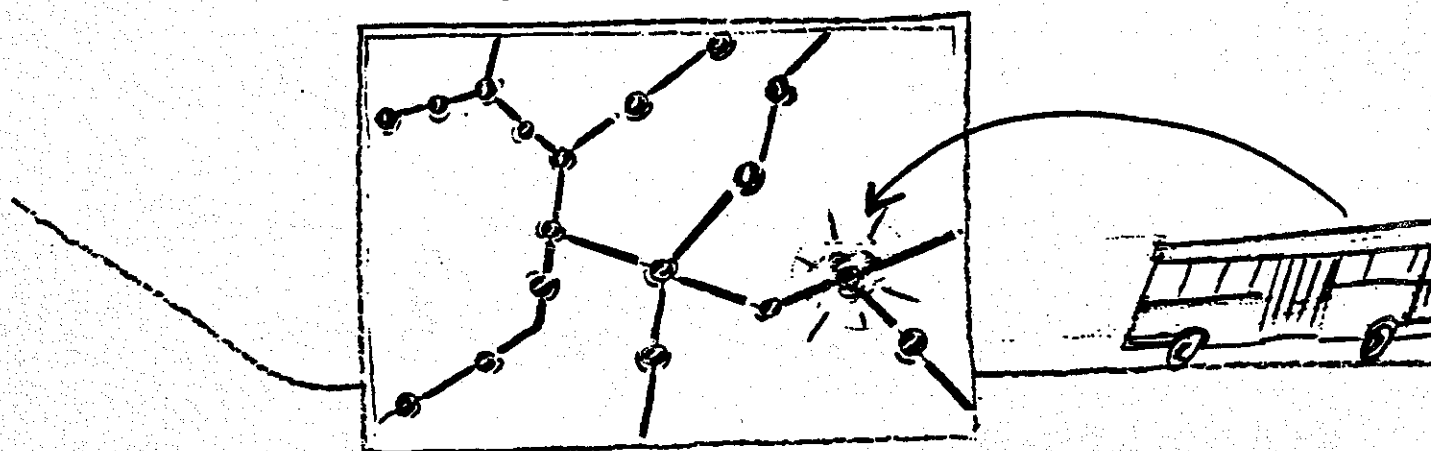
Ces deux points peuvent être obtenus sans centralisation, mais nécessitent le temps réel pour :

- contrôler le départ aux terminus;
- intervenir avant le début d'une dégradation prévisible, ou dès son début, pour l'annuler ou la minorer.

Les procédures dont disposeront les régulateurs au Poste Central, en cas d'incident, vont consister à :

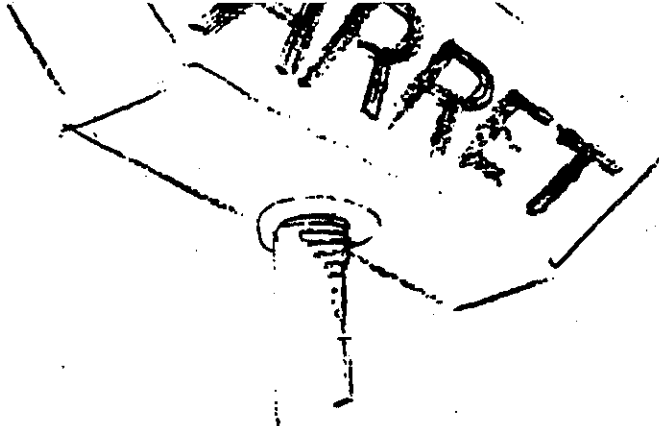
- avoir rapidement des renseignements sur la disponibilité des véhicules de remplacement;
- donner des consignes au chauffeur en lui demandant éventuellement des explications sur les difficultés qu'il peut rencontrer (incident de circulation, panne, etc.);
- modifier les horaires de certains départs;
- injecter un autobus de réserve;
- retourner en ligne (avec les contraintes que cela représente);
- dévier les itinéraires, en cas d'accident, d'embouteillage ou de manifestation;
- avoir un rapport préformulé et tenir un journal de bord.

La localisation précise et la nature de l'incident permettront en outre un dépannage rapide, grâce à la mémorisation d'informations telles que numéros de téléphone, adresses, listes de contrôle pour certains incidents...



4° Données d'exploitation

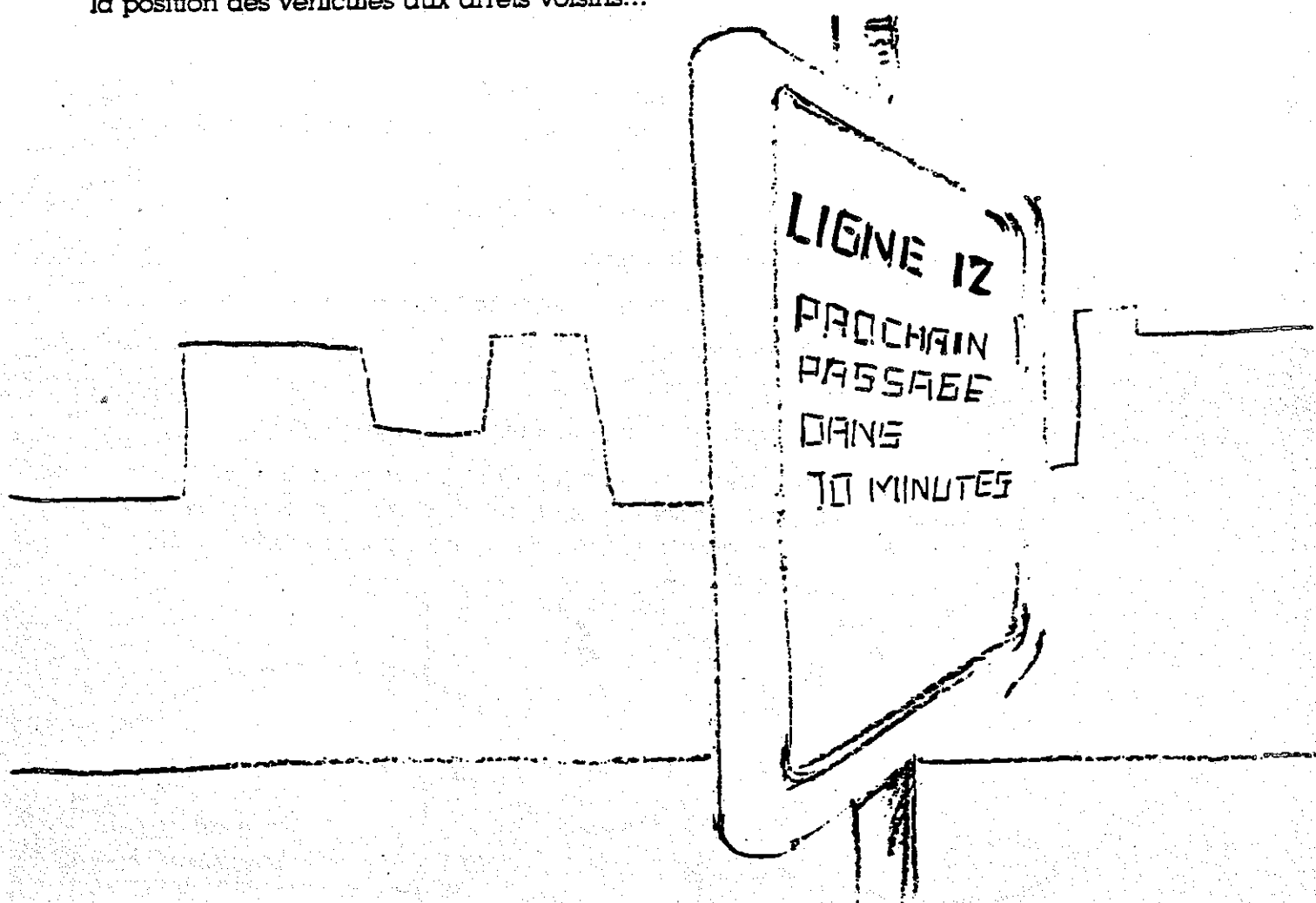
L'autobus acquiert certaines données d'exploitation : oblitérations, heures de conduite, kilomètres parcourus, comptages passagers, consommation énergétique, etc.) qui peuvent être traitées dans un centre de calcul destiné à élaborer les statistiques nécessaires.



5° Information des usagers

Le système connaît la position des véhicules sur leur ligne; cette information peut être affichée:

- dans les véhicules, pour indiquer le prochain arrêt;
- aux arrêts, pour indiquer l'heure et la destination des prochains passages, la position des véhicules aux arrêts voisins...



6° Action sur les feux

Cette action a pour but d'augmenter la vitesse commerciale, la régularité et le confort (moins d'arrêts) des véhicules de Transports Collectifs. En fait, la commande des feux en vue d'une priorité de passage des autobus aux carrefours doit être considérée comme une **mesure d'accompagnement** des actions générales au bénéfice des Transports Publics (décisions politiques).



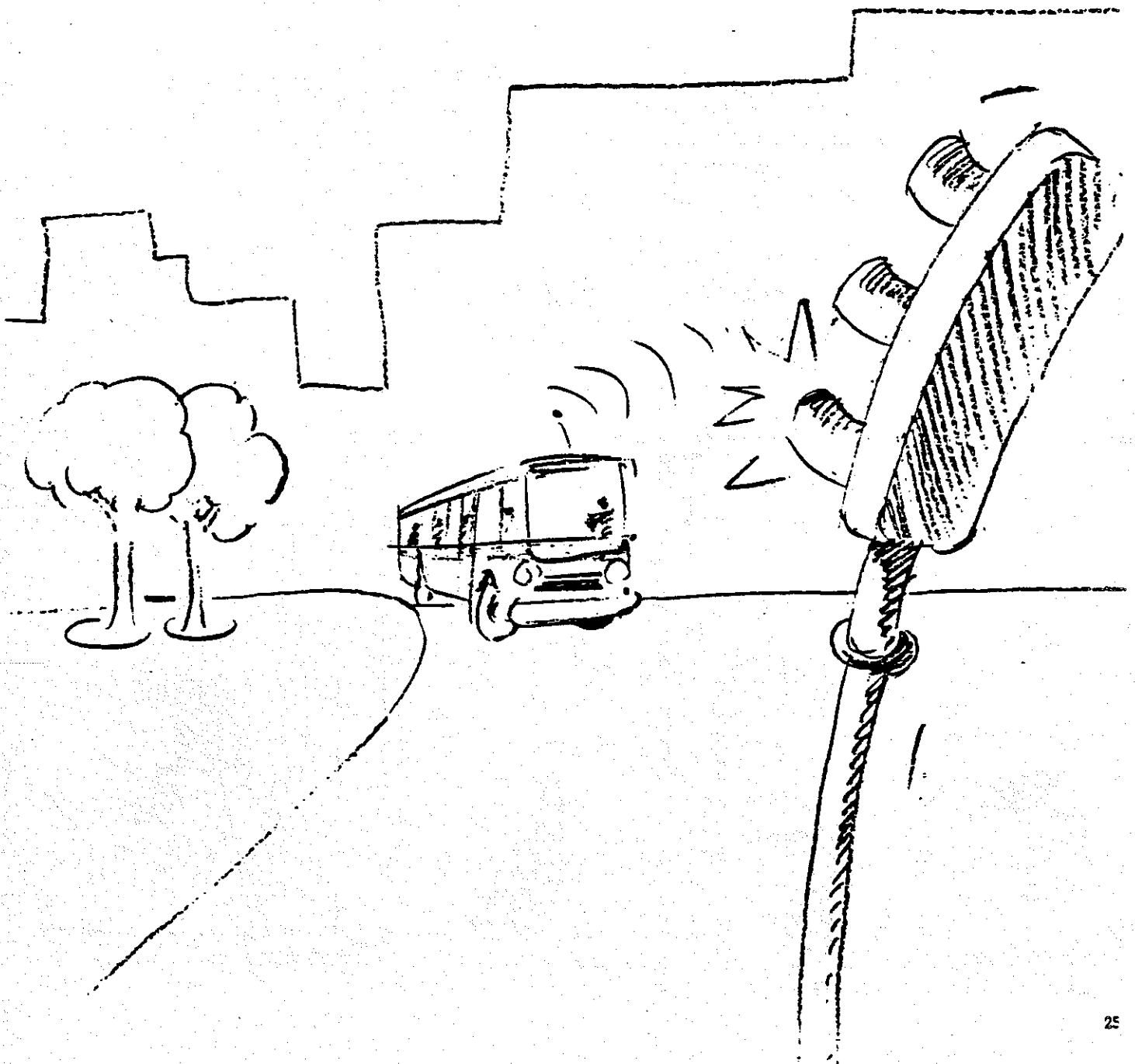
Il faut également noter que cette priorité de passage doit être examinée de manière intelligente pour chaque carrefour.

De plus, l'action sur les feux doit être en rapport avec l'enjeu: sans action particulière, un autobus perd environ 10 secondes à chaque feu rencontré sur son itinéraire.

Traditionnellement, et non sans raison, les responsables des services de circulation ont considéré la circulation des véhicules particuliers comme la somme de deux composantes:

— l'une, variant lentement dans le temps et dans l'espace et correspondant à des déplacements de population prévisibles, ayant donné naissance aux techniques de macro-régulation;

— l'autre, aléatoire et dépendant de la localisation exacte de l'usager à un instant précis par rapport aux feux, ayant donné naissance aux techniques de micro-régulation.



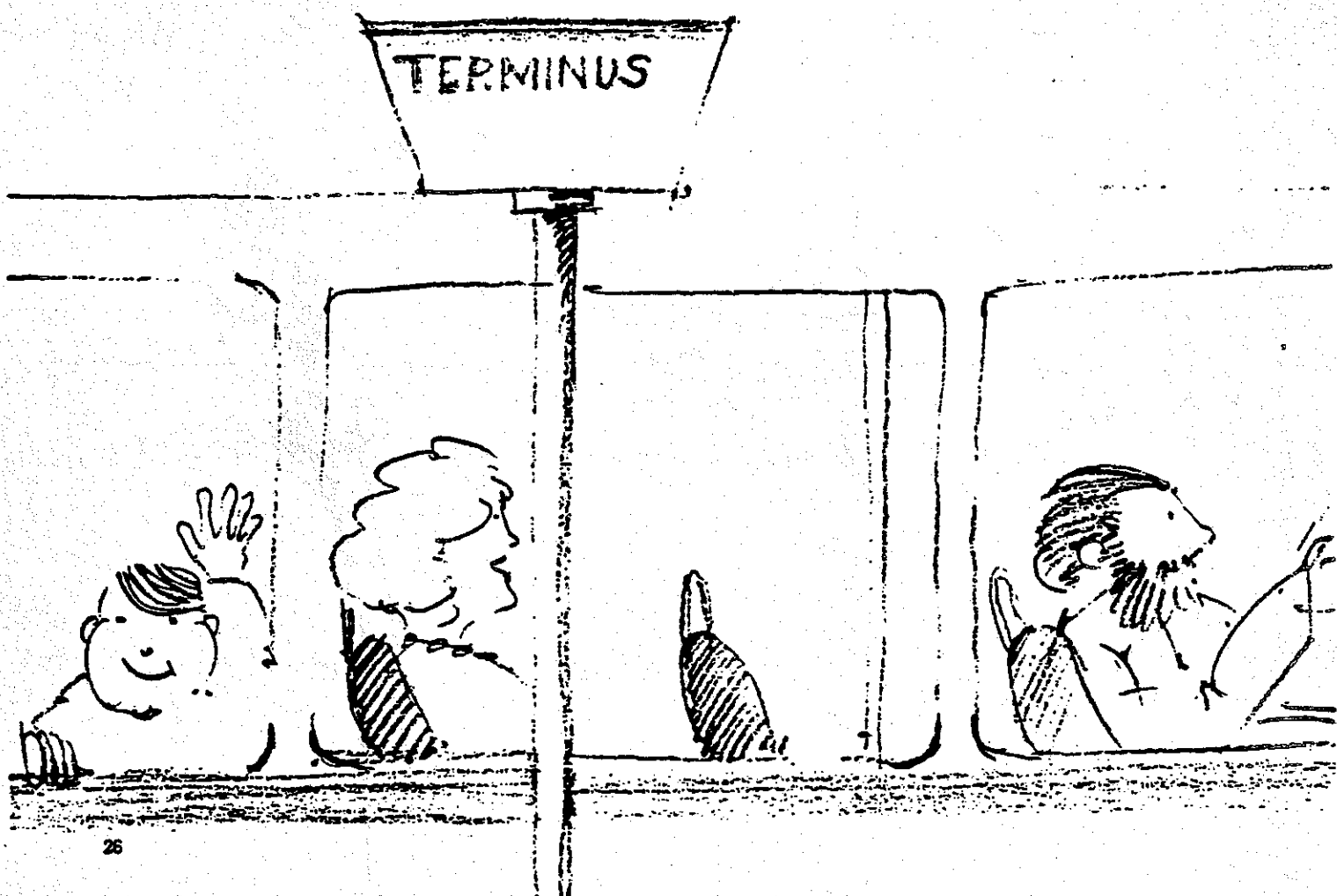
Dans ce contexte, la priorité du passage des autobus aux carrefours peut se faire selon deux méthodes non exclusives :

- la mise en place de plans de feux augmentant statistiquement l'espérance de vert des autobus ; il s'agit de régler les décalages entre les feux situés sur les différents itinéraires, de façon à ce que les autobus aient le maximum de probabilité de les rencontrer au vert ;
- l'action directe sur les plans de feux aux carrefours, lors de la détection de l'approche d'un véhicule.

Trois principes sont couramment utilisés dans cette famille :

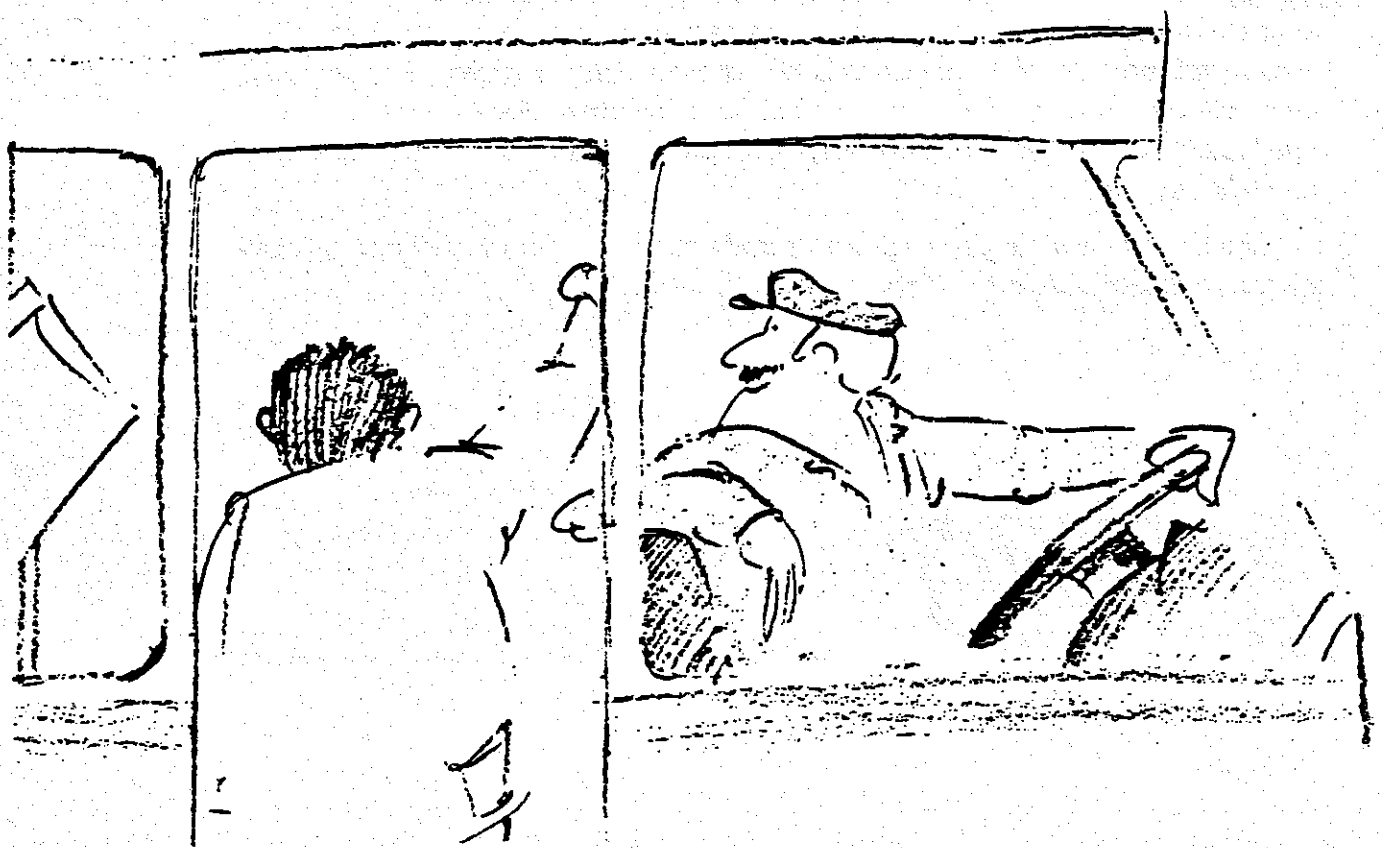
- action sur le plan de feux d'un carrefour, par prolongation ou anticipation du vert ;
- appel d'une phase spéciale « Autobus » ou d'une structure favorable au passage de celui-ci ;
- modification de l'enchaînement des lignes de diagramme du plan de feux, possible uniquement avec les contrôleurs acycliques ou non séquentiels.

Il faut cependant garder présente à l'esprit l'idée que l'approche « macro-régulation » est la moins à-même de satisfaire les autobus qui ne doivent — pour leurs besoins propres — que rarement être gérés comme des flux mais plutôt comme des entités ; en conséquence, il ne faudrait pas que la centralisation des feux — souvent confondue avec coordination — vienne introduire artificiellement des brimades aux actions de micro-régulation.



III

LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES



Au cours des dernières années, sont apparus plusieurs systèmes, fondamentalement différents parfois, ou résolument proches les uns des autres : dans ce dernier cas, les différences notoires ont trait au degré de complexité et d'adaptation des systèmes aux problèmes qu'ils rencontrent lors de leur développement et de leur exploitation.

Au niveau fondamental, deux principes coexistent :

- Les systèmes sans localisation permanente (localisation discrète)

Dans ceux-ci figurent :

- les systèmes avec absence de localisation en ligne ;

- les systèmes avec localisation aux terminus ;

- les systèmes avec localisation partielle en ligne, par utilisation d'un réseau de câbles ou de certaines barrières spécifiques.

- Les systèmes avec localisation automatique permanente (continue)

Dans ceux-ci figurent :

- les systèmes dits centralisés ;

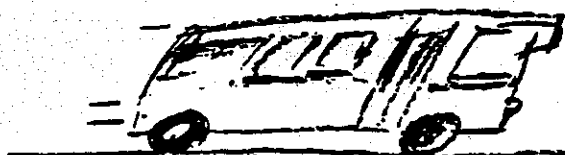
- les systèmes dits décentralisés.

1° Les systèmes sans localisation permanente

1.1. Absence de localisation en ligne

De nombreux systèmes de ce type ont été réalisés et celui de la R.A.T.P. (C.C.D.) en est un modèle représentatif. L'aide à l'exploitation consiste à gérer les départs aux terminus de la manière suivante : une borne de prépointage et une borne de départ figurent à chaque terminus. Lorsqu'un véhicule quitte le terminus, le numéro de service du prochain autobus prévu dans le tableau de marche est affiché ; quand celui-ci arrive, le chauffeur reconnaît son numéro de service et pointe à la borne de prépointage ; si le numéro ne correspond pas, un téléphone permet au chauffeur d'appeler le poste de commande.

Le pointage effectué, le poste de commande assure le départ par une alarme sonore préparatoire et un « top » de départ visuel.



Si le pointage n'a pas lieu avant l'heure théorique de départ, l'exploitant sait que le véhicule prévu est en retard.

Cette famille assume ainsi la ponctualité des départs et permet également des algorithmes de régulation des départs (non pas pour l'autobus concerné, mais pour les numéros de service qui suivent).

La centralisation des terminus peut être intéressante pour l'exploitant (un seul P.C., traitements statistiques...), mais les besoins de contacts directs avec le personnel ont conduit la R.A.T.P. à une centralisation partielle: un P.C. à chaque terminus gérant 1 à 10 lignes au maximum. De plus, les problèmes financiers de raccordement des terminus à un seul P.C. justifient parfois cette décentralisation.

Il faut noter que tous les véhicules de la R.A.T.P. sont équipés de radios-téléphones qui apportent des informations précieuses aux personnels roulants et à l'exploitant (demande de position, signalement de points noirs, messages à caractère personnel...).

1.2. Localisation aux terminus

Comme déjà précisé, la notion de « temps de battement » est fondamentale, car elle permet — si elle est bien calculée — d'assurer le départ, condition nécessaire au respect de la ponctualité et de la régularité, encore faut-il disposer de la référence horaire et l'afficher.

Il est très intéressant de savoir, quelques minutes avant son arrivée au terminus, si un autobus va pouvoir repartir à l'heure; cela nécessite son identification et la saisie de sa position à l'approche du terminus.

De même, s'assurer que le véhicule est bien parti à l'heure implique la reconnaissance de l'identification du véhicule à son départ.

Ces systèmes se révèlent efficaces lorsque le ratio
$$\frac{\text{Nombre de terminus}}{\text{Nombre de bus}}$$

est faible et lorsque nous sommes en présence d'un réseau central aux lignes très chargées et perturbées, comme celui de la R.A.T.P.

De plus, la centralisation des terminus permet des actions cohérentes de régulation, notamment avec des mesures correctives d'horaires.

Cette méthode ne permet cependant pas la gestion des correspondances en ligne et limite:

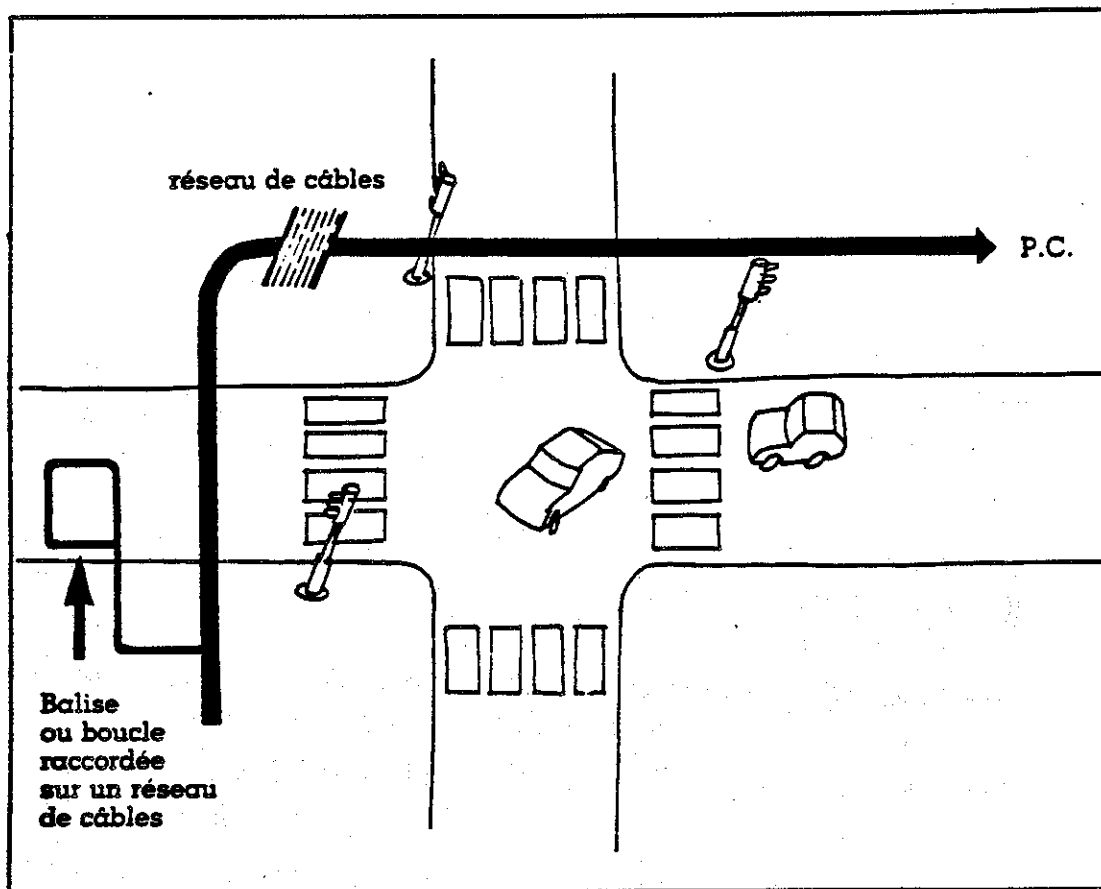
- les chronométrages aux temps de rotation;
- les fonctions de sécurité assurées uniquement par la phonie classique;
- les informations « chauffeur » et « usagers ».

1.3. Localisation partielle par utilisation d'un réseau de câbles ou par balise (radar, boucle, système infra-rouge, etc.)

Il convient ici de distinguer les systèmes utilisant des liaisons filaires entre points de localisation et P.C. et les systèmes sans liaison filaire, utilisant des liaisons hertziennes pour communiquer avec le P.C.

• Liaison filaire

Le principe consiste à utiliser un réseau de câbles existant (par exemple, celui de la régulation du trafic) ou mis en place à cet effet, afin de transmettre vers le Poste Central des informations de localisation.



Les systèmes centralisés de trafic, par exemple, disposent d'un réseau de câbles permettant — entre autres — de ramener les mesures de trafic au Poste Central.

Quels sont les principes de transmission par câble ?

Trois types sont fréquemment utilisés :

- le « fil à fil » — appelé aussi multiplexage spatial — c'est-à-dire un fil par information élémentaire + un fil commun ;
- le multiplexage fréquentiel, où une information donnée correspond à une plage de fréquence donnée (cela permet de véhiculer une trentaine d'informations sur une paire téléphonique) ;

— le multiplexage temporel, faisant appel à des procédures de transmission informatisées, dans lesquelles les informations sont contenues dans un télégramme ou enregistrement informatique, avec une adresse propre à chaque point.

Des mixages des trois types sont également possibles et réalisés.

Lorsque l'enregistrement informatique comporte une zone de réserve destinée à accueillir de nouvelles informations en provenance du terrain, ou lorsque le réseau de câbles dispose de réserves suffisantes de paires en direction du Poste Central, il est intéressant de greffer, sur cette infrastructure existante, un dispositif de reconnaissance et d'identification des véhicules.

Ce dispositif peut être, soit une balise (radar, ou émetteur ou récepteur) identifiant le véhicule équipé d'un récepteur ou d'un émetteur, soit — plus couramment — un système à boucle raccordé sur un récepteur.

Dans ce cas, les véhicules comportent des émetteurs spéciaux à faible puissance: au passage dans la zone de communication, ils excitent le récepteur qui «réveille» le dispositif.

Balises ou boucles sont reliées au Poste Central (par l'intermédiaire du contrôleur de carrefours éventuellement, dans le cas d'un système de régulation du trafic).

Outre l'identité du véhicule, un certain nombre d'informations (date, heure...) peut être envoyé dans le cadre des procédures informatiques de transmission au P.C. Ces données sont traitées en temps réel ou en temps différé.

L'intérêt essentiel est la localisation ponctuelle des véhicules le long de leur itinéraire, donnée utilisable en exploitation et en régulation du trafic. En effet, cette localisation, lorsqu'elle se situe en amont des carrefours, permet des actions de prise en compte des autobus aux carrefours, en utilisant la micro-régulation locale ou centralisée.

Cette méthode de localisation par utilisation de l'infrastructure de trafic, par exemple, nécessite cependant un examen approfondi du réseau de câbles. Les problèmes peuvent apparaître au niveau de la fiabilité des transmissions et au niveau de l'encombrement du réseau.

• Sans liaison filaire

Lorsque les liaisons filaires sont saturées ou lorsque le réseau de câbles est inexistant, il est quand même possible de localiser ponctuellement les véhicules le long de leur itinéraire.

Par le même principe que précédemment (c'est-à-dire boucle ou balise), le système embarqué dans le véhicule reconnaît le point de localisation et transmet par radio cette information au P.C. Autobus.

Si l'ordinateur trafic existe, l'ordinateur autobus peut lui envoyer cette localisation sous forme d'une impulsion identique à celle d'une détection véhicule particulier, ce qui permet des actions de micro-régulation centralisée en faveur des autobus, sans augmentation d'infrastructure.

Les balises peuvent être autonomes ; l'énergie est alors emmagasinée dans des accumulateurs longue durée ou puisée au cours de la nuit dans les mâts d'éclairage public.

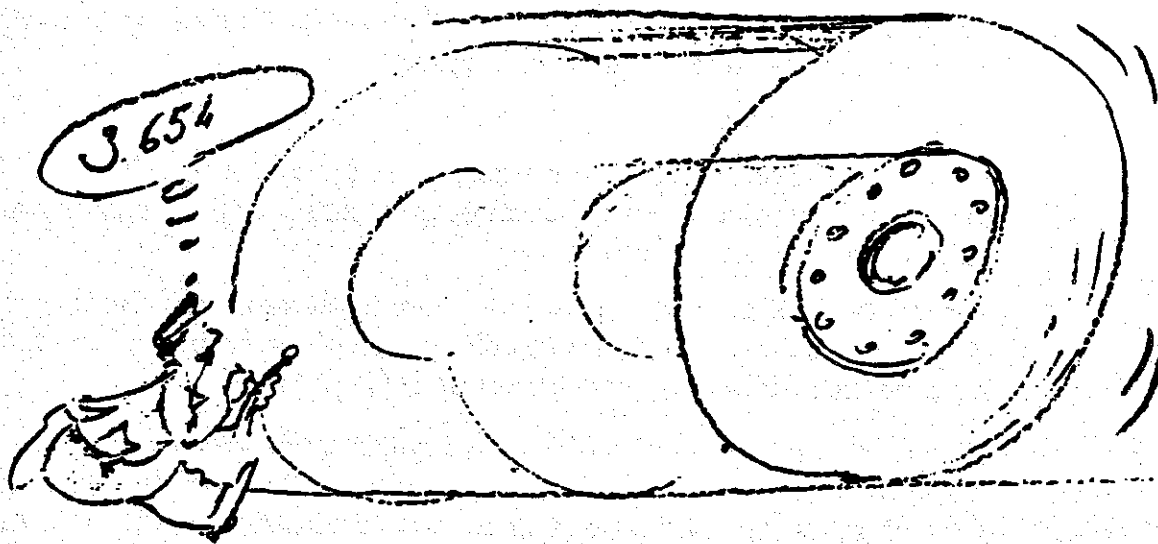
Cette méthode très intéressante permet des localisations partielles, mais précises, des véhicules sur leurs lignes.

2° Les systèmes avec localisation permanente

Dans les deux familles ci-dessous, les véhicules sont équipés d'odomètres (compteurs de roues) qui fournissent des informations élémentaires de distance (nombre de tours de roues, généralement). Ce type d'information peut être traité (conversion en distance métrique) à l'intérieur du véhicule ou par le poste d'exploitation.

Dans les deux cas, on peut considérer que la localisation se fait en « continu » ; en effet, dans les systèmes décentralisés et hiérarchisés, c'est généralement le micro-processeur embarqué dans le véhicule qui calcule la distance parcourue depuis le dernier recalage ; dans les systèmes centralisés, cela peut également être le matériel embarqué qui calcule la distance parcourue et transmet au P.C. cette localisation lors d'une interrogation radio, ou alors c'est le poste central qui exécute le même calcul à partir des informations élémentaires fournies par les véhicules et transmises par radio au P.C.

Il faut noter que les termes « centralisés » ou « décentralisés » ne sont qu'une classification intellectuelle et qu'en réalité les systèmes décentralisés doivent évoluer vers la centralisation.



2.1. Systèmes centralisés

Ces systèmes permettent le suivi en temps réel au Poste Central.

En complément aux dispositifs de la famille § 1.3., les véhicules sont équipés d'odmètres qui leur permettent de se localiser en permanence avec une précision de l'ordre de 1 % entre les recalages.

Le Poste Central peut, à tout moment, interroger un véhicule qui transmet alors par radio les informations nécessaires à sa localisation. Dans la plupart des cas, l'interrogation est faite cycliquement, ce cycle variant en fonction du nombre d'autobus (de 10 à 30 secondes pour un parc de 200 bus environ).

Suivant le degré de précision nécessaire, des balises implantées le long des lignes corrigent les localisations et augmentent de ce fait la précision du suivi des véhicules.

Cette famille est très performante à tous les niveaux:

- exploitation;
- respect du tableau de marche;
- opérations de régulation en ligne;
- informations « chauffeur » et « usagers ».

mais elle s'avère complexe:

- en logiciel;
- en matériel embarqué;
- en matériel au Poste Central.

Les ambitions fonctionnelles et techniques doivent être corrélées avec les dépenses financières (investissement et maintenance) et avec la maîtrise de l'ensemble du système (traitement élaboré des données). Cette famille peut se décomposer en 2 sous-familles: celle qui nécessite un P.C. et celle qui peut s'en affranchir en reprenant certains éléments des systèmes décentralisés.

2.2. Systèmes décentralisés

La caractéristique de cette famille est l'absence de communication permanente autre que la phonie, vers le P.C., de la progression des véhicules sur leur ligne en temps réel.

Chaque véhicule comprend un micro-ordinateur équipé de fichiers (cassette statiques ou magnétiques) comportant les éléments nécessaires à l'autonomie du véhicule pour son service journalier. Ces fichiers comportent également les profils et les horaires théoriques de l'ensemble des lignes du réseau et permettent le recueil de données.

L'auto-régulation consiste à comparer le tableau de marche réel avec le tableau de marche théorique et à afficher, dans le véhicule, les avances et retards.

Quels sont les avantages de cette famille?

— par opposition aux systèmes centralisés où le risque de pannes du P.C. existe — ce qui entraîne, dans ce cas, la perte complète du suivi des véhicules et celle, partielle, des informations d'exploitation — cette famille n'enregistre que peu de perte de statistiques de mouvements et d'exploitation;

— cette famille ne nécessite pas un investissement de base aussi important que celui des systèmes centralisés (1,5 à 3 millions pour le poste central, indépendamment ou presque du nombre d'autobus) et convient de ce fait aux petits réseaux (villes de moins de 100 000 habitants). La centralisation est toujours possible ultérieurement, conformément aux Cahiers des Clauses Techniques Particulières (C.C.T.P.) le précisant; il deviennent alors des systèmes hiérarchisés;

— ces systèmes sont essentiellement des outils d'acquisition de la connaissance, premier objectif demandé aux S.A.E.;

— des informations temps réel (telles que les avances-retards, les départs sur ordre) peuvent être transmises aux conducteurs;

— la manipulation physique des fichiers, faite par le personnel roulant, peut ne pas être ressentie par certains réseaux comme une contrainte, mais au contraire comme une valorisation de leur travail, du fait de la maîtrise par le personnel de l'outil de gestion (par opposition aux systèmes entièrement automatiques dans lesquels les chauffeurs ressentent une impuissance d'action face à un outil de contrôle).

Les inconvénients des systèmes décentralisés sont:

— les manipulations que nécessite la remise à jour individuelle de chaque fichier, lors de modifications de profils de lignes et d'horaires (cela peut se faire par téléchargement, avec un matériel de transmission de données);

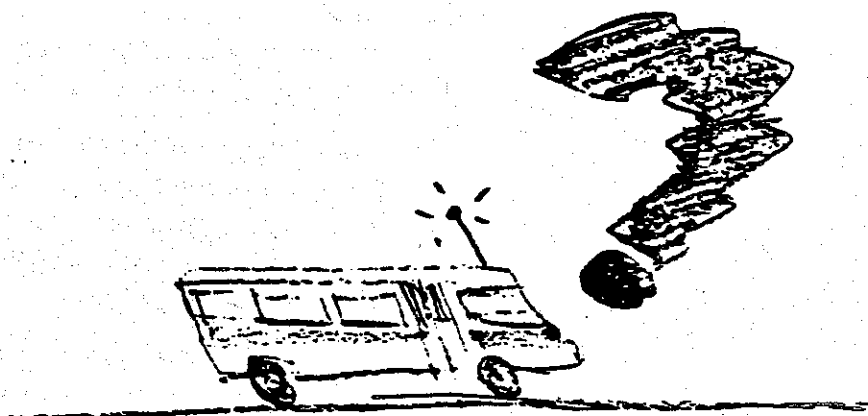
Ces systèmes peuvent cependant disposer de téléchargements spécifiques, avec des vitesses de transfert élevées (9 600 bauds) permettant, au terminus, un vidage automatique en quelques secondes des informations mémorisées en ligne.

— aucune perception globale et automatique des perturbations:

• difficulté de créer et de mettre en œuvre les horaires temporaires ou provisoires de rattrapage des perturbations ou de retournement;

• pas de régulation automatique destinée à minimiser les inconvénients inhérents à la position relative de plusieurs autobus (intervalles véhicules, correspondances, etc.).

Ces deux contraintes peuvent néanmoins être minimisées par l'utilisation de la phonie.

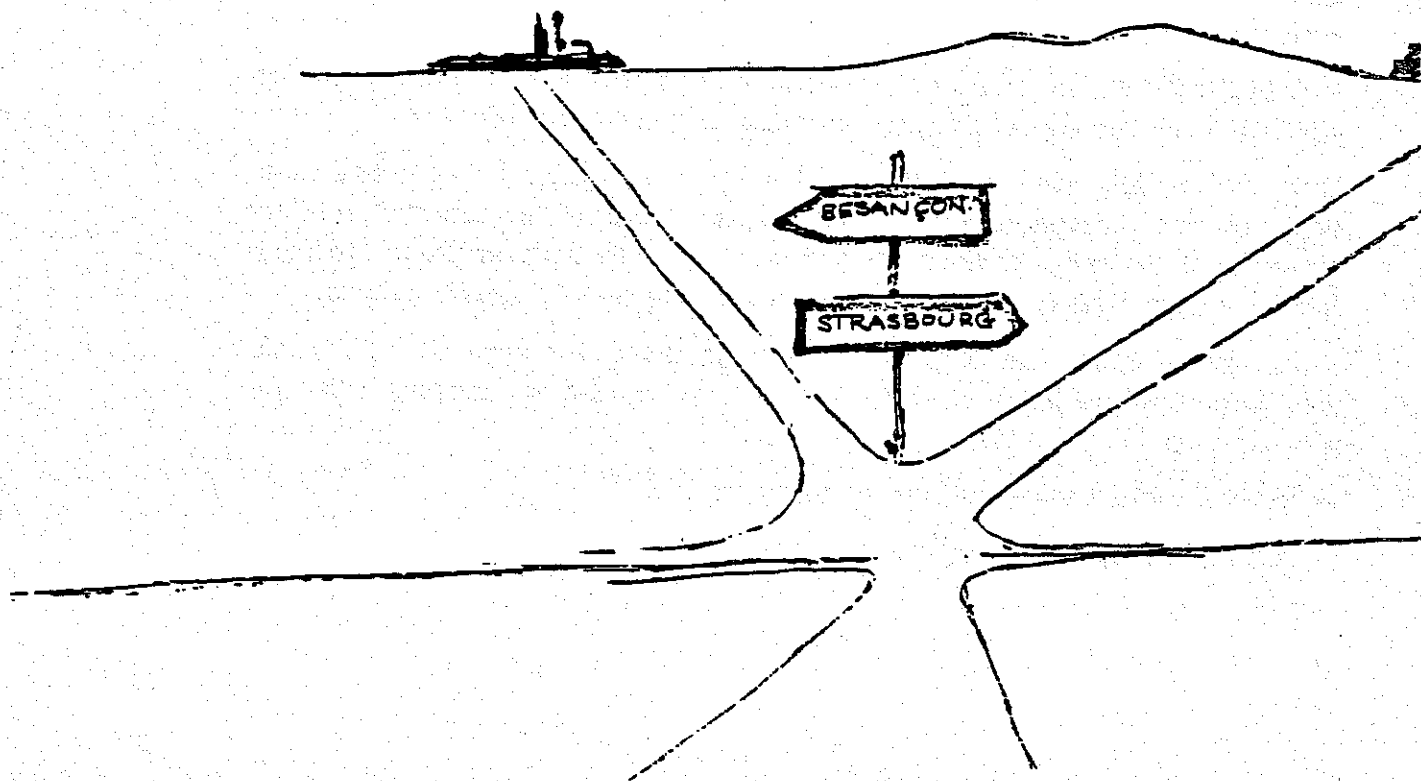


IV

RÉSULTATS

La première partie de ce chapitre s'attache à mettre en évidence, en regard des objectifs cités au chapitre I, les résultats des Systèmes d'Aide à l'Exploitation des Transports Publics actuellement en service (exemple : STRASBOURG et BESANÇON).

La deuxième partie traite plus particulièrement des effets de la prise en compte des autobus aux carrefours. Ces systèmes, aujourd'hui intégrés dans les S.A.E., peuvent également être mis en place en dehors d'une configuration S.A.E.



A - Résultats des S.A.E. actuellement en service

Les résultats proviennent essentiellement d'une étude d'efficacité du système de gestion des autobus sur la ligne n° 4 à STRASBOURG, faite par le C.E.T.E. de METZ, pour le compte du C.E.T.U.R. et de la Communauté Urbaine de Strasbourg, et d'un rapport paru dans « Transports Publics », s'intitulant: « Le système d'aide à l'exploitation des autobus à BESANÇON - Synthèse d'une réalisation ».

L'organigramme ci-après explicite la méthodologie d'étude développée à STRASBOURG.

A.1. Comparer le service théorique avec le service constaté au travers du S.A.E.

- A STRASBOURG, l'enregistrement permanent et automatique du suivi des véhicules permet la sortie des informations stockées sur bande magnétique.

Le calculateur édite sous forme de tableaux et pour chaque type de jour (semaine, samedi, dimanche) ou de tranche horaire (pointe, creux, nuit):

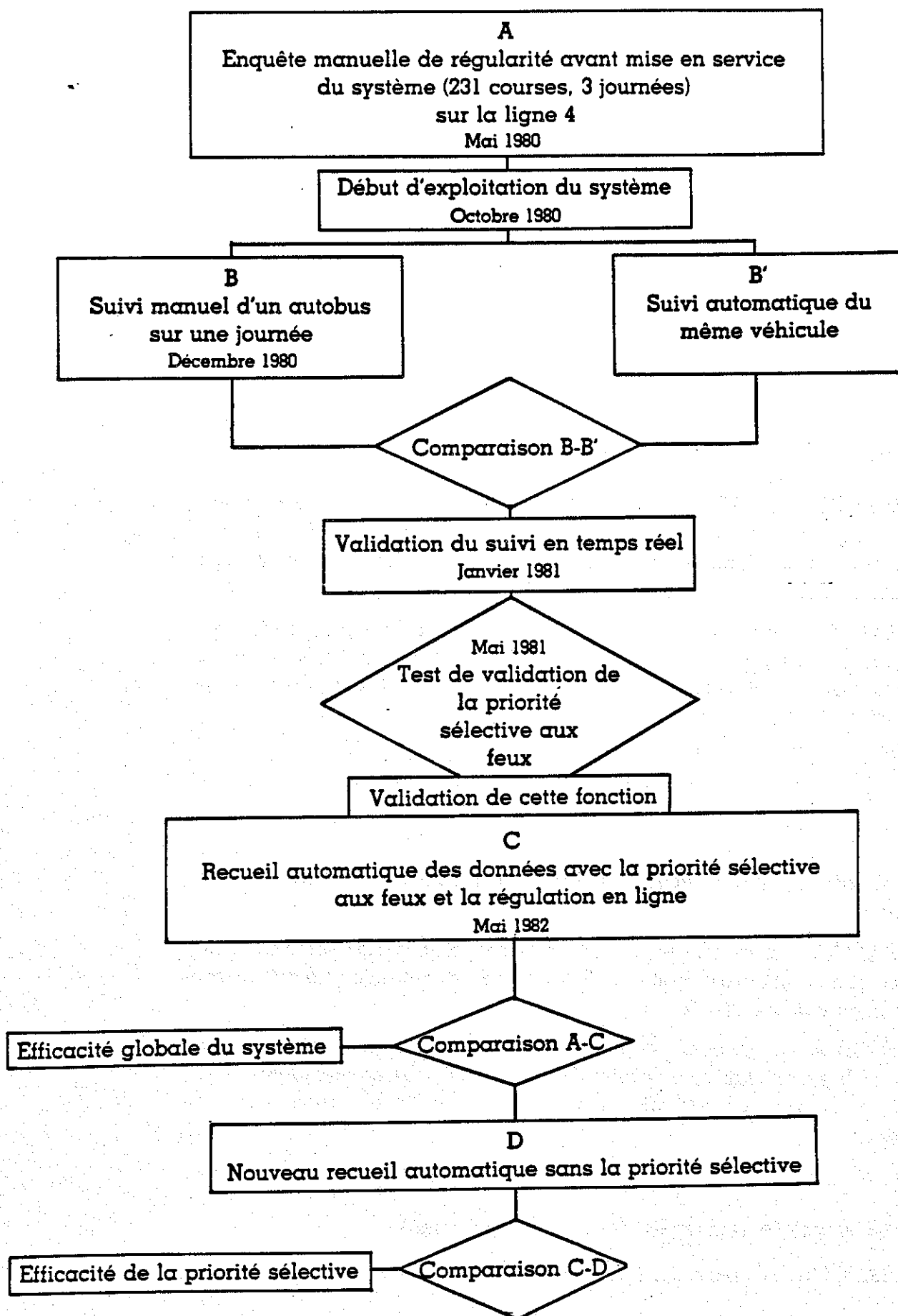
- l'histogramme et la moyenne écart-type des temps de parcours entre stations principales;
- l'histogramme et la moyenne écart-type des décalages aux stations principales.

Ces informations permettent, au bout d'une certaine durée d'exploitation, de comparer le service réel avec le service théorique, de mettre à jour les horaires théoriques rentrés en machine, en affinant les temps de parcours, et de tenir compte en particulier des évolutions inhérentes aux conditions de circulation et d'exploitation. C'est le premier apport, non négligeable, d'un tel système.

- A BESANÇON, la première application était également une exploitation statistique en vue de l'établissement des graphiques de référence.

Une analyse fine des composantes des temps de parcours a pu être faite: variation des vitesses sur voirie courante, des temps de franchissement d'intersections, des temps d'arrêts en station, de la charge à prendre par tranche horaire et par type de jour. Aussi, cette banque de données a permis:

- la représentation des graphiques « espace/temps moyen » station par station, pour chaque ligne et chaque sens, pour toutes les courses, avec les moyennes et les dispersions;
- les variations lissées des temps de parcours;
- certains histogrammes d'analyse fine.



- A partir de ces résultats, de nouveaux horaires ont été appliqués avec — toujours à BESANÇON — une diminution de l'intervalle aux heures creuses et des temps de parcours de 10 % au maximum (négociation entre l'ambition et le possible).

- Quant à STRASBOURG, les temps de parcours théoriques globaux, de terminus à terminus, ont été diminués dans l'ensemble, le maximum était de 3 minutes (5,5 %) sur la ligne n° 4 dans le sens Nord-Sud en heure creuse.

Ci-après, les diagrammes de marches théoriques Avant et Après mise en service du système.

A.2. Améliorer l'offre pour les usagers

A.2.1. Réduction du temps d'attente

Aussi bien à STRASBOURG qu'à BESANÇON, une diminution des attentes a été obtenue grâce à un meilleur respect de la ponctualité et de la régularité. Ce qui signifie, pour l'usager, moins de fluctuations des horaires de passage aux stations, donc réduction du temps d'attente.

- A BESANÇON, par exemple, le S.A.E. a contribué à faire passer les intervalles en heures de pointe de 10 minutes à 5-7 minutes, ce qui, bien entendu, n'aurait pas été possible sans une volonté politique (aménagement du plan de circulation).

- A STRASBOURG, la réduction des temps d'attente s'est faite principalement par le respect de la ponctualité et de la régularité.

A.2.2. Contrôle et amélioration du taux d'occupation des véhicules

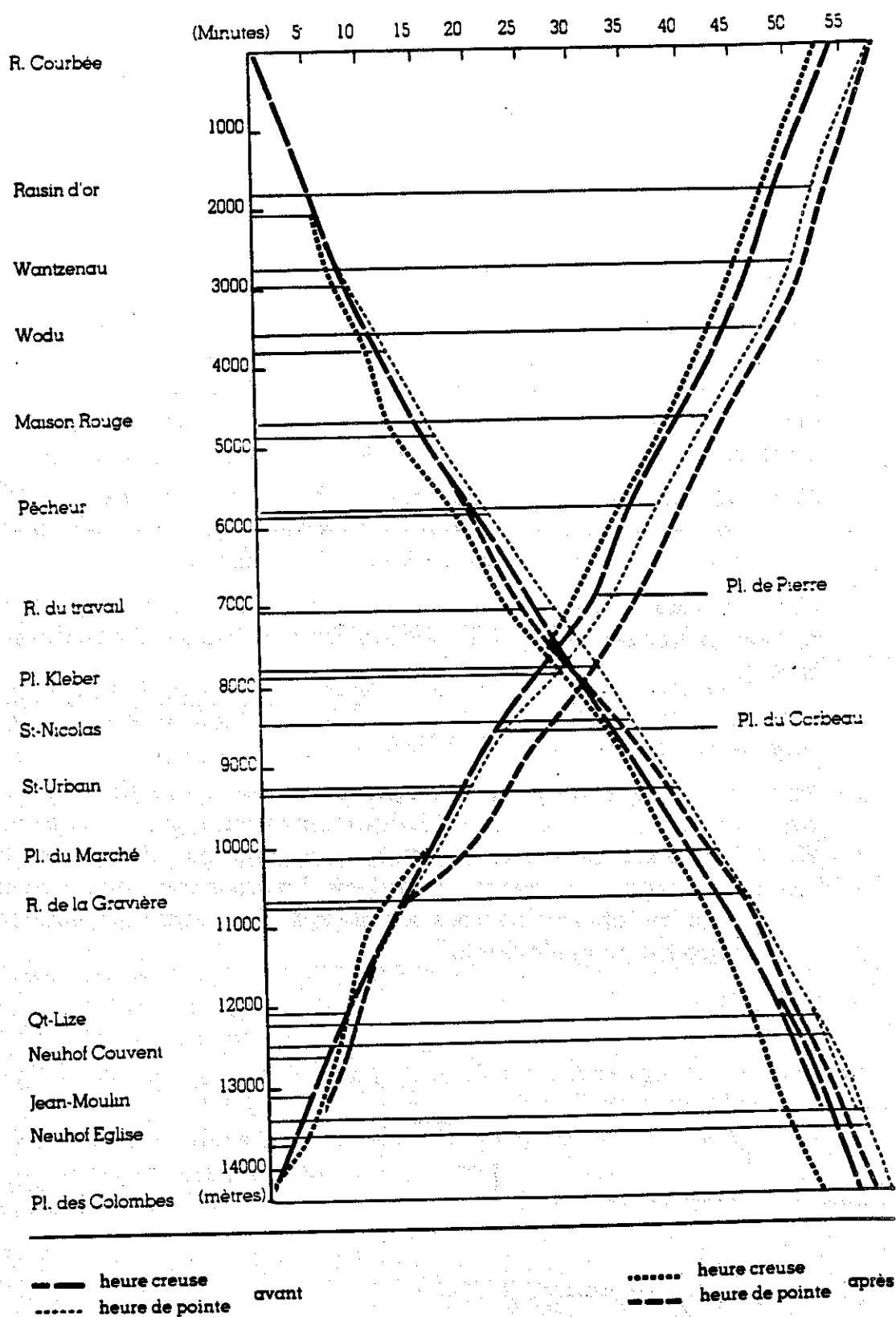
- A BESANÇON, alors que le nombre de voyageurs a augmenté pendant 4 ans et continue encore à croître de 5 % par an, on assiste à une diminution de surcharge aux heures de pointe.

- A STRASBOURG, aucune étude n'a été faite de manière précise sur ce point ; mais le simple fait de respecter l'horaire implique une meilleure répartition de la charge des véhicules, car on a éliminé la formation de trains d'autobus.

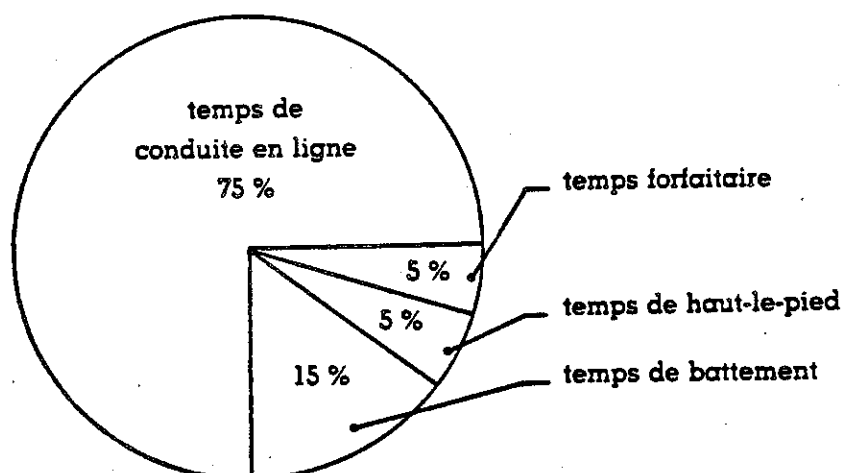
A.2.3. Augmentation de la vitesse commerciale

- A BESANÇON, l'objectif est une diminution de 10 % des temps de parcours.

Diagrammes de marche théoriques avant et après mise en service du système (STRASBOURG)



Dans un grand nombre d'exploitations, la décomposition du temps de travail du personnel roulant est approximativement la suivante :



• Dans l'exemple de STRASBOURG, l'on peut supposer en première approximation que le gain de temps de parcours de 3 % constaté sur la ligne 4 peut servir de base à une estimation du gain que l'on pourra trouver sur l'ensemble du réseau, une fois le système global mis en place. Une étude, ligne par ligne, serait néanmoins nécessaire pour confirmer cette approximation.

Les récentes études de la R.A.T.P. concernant « le temps de battement et la fiabilité de l'horaire » (cf. Transport Public — Juin 82) font apparaître l'existence d'un « temps de battement optimal, à moyens constants qui serait compris entre 1 et 2,5 fois l'écart-type du temps de parcours en amont ».

L'amélioration de la régularité conduit donc à des gains sur le temps de battement.

A partir des mesures réalisées sur STRASBOURG, une estimation théorique du gain peut être faite, gain obtenu en prenant pour temps de battement 1 fois l'écart-type.

L'analyse de la situation Avant et Après S.A.E. fait apparaître une diminution théorique de 2,5 minutes ($1 \times \Delta \sigma$) des battements au terminus, soit environ 20 % du battement initial.

L'évaluation économique est donc :

$$0,75 \times 0,03 + 0,15 \times 0,20 = 0,05$$

soit 5 % d'économie sur les temps de travail, correspondant à 5 % des coûts d'exploitation (chauffeurs + véhicules).

Dans ces hypothèses et sachant que l'équipement en S.A.E. de l'ensemble des lignes de STRASBOURG représente une dépense d'environ 21 % des coûts annuels d'exploitation relatifs aux lots chauffeurs-véhicules, on peut estimer que le S.A.E. est amorti en 4-5 ans sur les seuls points étudiés, compte tenu qu'il y a lieu de déduire le montant du contrat de maintenance évalué à 1 million de Francs/an.

• A BESANÇON, le coût d'entretien du système (contrats de maintenance, assurances, licences P.T.T., réparations, pièces détachées, outillage, quote-part des salaires de l'équipe de maintenance C.T.B. — un technicien supérieur + deux agents — correspondant à l'entretien du système) s'élève à environ 550.000 F pour l'année 1980, soit donc 1,2 % du budget d'exploitation (hors amortissements). Le contrôleur en service au P.C. n'est pas compté, compensé par le contrôleur centre-ville nécessaire en cas d'absence de système automatique.

Or les gains en temps de parcours — très nettement supérieurs à 1,2 % (objectif 10 %) — se répercutent, comme déjà vu pour Strasbourg, sur l'ensemble des éléments constituant les coûts d'exploitation (temps de conduite, matériel roulant, ...). Il est donc raisonnable d'affirmer qu'un tel système remplit les missions assignées et permet une aide à la maîtrise du déséquilibre financier.

A.4. Améliorer les conditions de travail du personnel

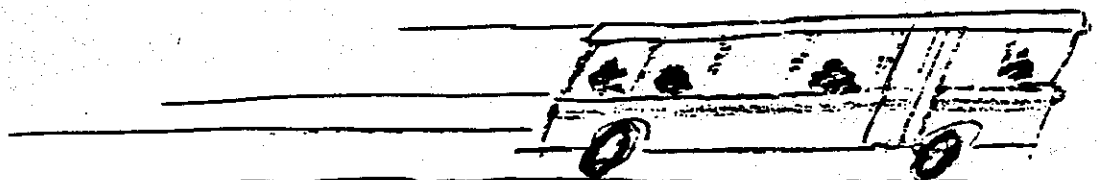
A.4.1. Le personnel roulant

Il bénéficie du respect des horaires et cela lui permet :

- de prendre le service et de le terminer à l'heure, notamment pour la relève en ligne ;
- d'assurer les temps de repos aux endroits prévus, notamment aux terminus ; à STRASBOURG, par exemple, la possibilité de diminuer les temps de battement n'a pas été exploitée, les chauffeurs disposant ainsi d'un temps de repos assuré.

De plus, l'augmentation de la qualité de l'offre pour les usagers s'est traduite à BESANÇON, par une diminution des récriminations de ces derniers envers les chauffeurs et par un meilleur dialogue avec la direction, grâce à l'éditeur des statistiques sur les temps de conduite et de repos.

La phonie, instrument de gestion du réseau, peut aussi servir d'aide au chauffeur (appel urgent, message à caractère personnel, ...).



A.4.2. Les contrôleurs de ligne

Ils exploitent les informations fournies par le S.A.E. sur l'état du réseau. Il est aussi possible de sortir, sur console alphagraphique :

— une image graphique de la position réelle des autobus, repérée par leur numéro de couleur rouge (retard) ou verte (avance), ligne par ligne ; l'image est rafraîchie toutes les 20 secondes à Strasbourg ;

— une image de renseignements numériques sur :

- la dernière station principale où est passé l'autobus ;
- la valeur du décalage ;
- la référence de la course ;
- les consignes envoyées à l'autobus, etc.

De plus, les contrôleurs de ligne disposent fréquemment d'un tableau synoptique où est visualisé l'ensemble des lignes, avec trois voyants pour chaque autobus : avance, retard, alarme.

La phonie permet aussi au contrôleur de ligne de se mettre en rapport avec UN chauffeur, un GROUPE de chauffeurs ou l'ENSEMBLE du personnel roulant.

A.4.3. Le personnel d'atelier

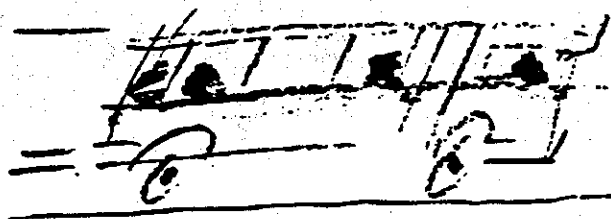
Il dispose des informations fournies en temps différé par le S.A.E. (nombre de kilomètres parcourus par autobus, incidents enregistrés, consommation, etc...) et planifie de manière optimale les travaux de l'atelier (vidange, révision, etc.).

A.4.4. Le service des mouvements

Il est chargé d'établir les tableaux de marche des véhicules et dispose, grâce aux statistiques d'exploitation, de tous les éléments nécessaires à l'affinage des horaires.

A.4.5. Le service commercial

Celui-ci, enfin, exploite les informations statistiques en vue d'une meilleure redéfinition de l'offre satisfaisant de plus près la demande prévisionnelle.



A.5. Améliorer la productivité de l'entreprise

Comme cela a déjà été expliqué dans le chapitre 1.5, l'augmentation de la productivité peut se faire de trois manières:

- réduction des coûts d'exploitation;
- augmentation des recettes;
- augmentation de l'offre kilométrique.

• L'étude de STRASBOURG laisse espérer, grâce au gain en temps de conduite et de battement, un gain annuel de 5 % du temps de travail qui permet un amortissement du système en 4-5 ans environ.

Du fait de sa « jeunesse », le système de STRASBOURG n'a pas encore eu d'effet sur l'augmentation de la fréquentation.

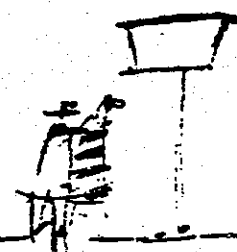
• A BESANÇON, l'expérience aidant, l'amélioration de la qualité de service offerte aux usagers se traduit par une augmentation annuelle de 5 % du nombre des voyageurs.

A.6. Mettre à la disposition de l'exploitant un outil de négociation de l'usage sélectif de la voirie

A Strasbourg, l'enregistrement du suivi des véhicules, tronçon par tronçon, a permis de justifier et de maîtriser les besoins de prolongation de vert à certains carrefours. Une extension de 10 à 20 secondes de vert — voire 30 secondes — a ainsi été mise en place sur quelques intersections.

EN CONCLUSION:

Les résultats des S.A.E. sont positifs et encourageants. Les succès de telles opérations sont liés à l'appui politique des mesures d'accompagnement en faveur des transports publics (stationnement, campagne d'information, respect des sites propres, etc.) et, surtout, à l'adhésion du personnel qui rejettera le S.A.E. si celui-ci est utilisé comme un outil de contrôle, de répression et de sanction.



B. Résultats de la prise en compte des autobus aux carrefours

Aujourd'hui intégrés dans les S.A.E., les systèmes de prise en compte des autobus sont assez largement répandus, tant en France qu'à l'étranger, sans pour autant faire partie d'un S.A.E. souvent inexistant.

Le principe est fréquemment le suivant: à l'approche du carrefour, le véhicule est reconnu et identifié. Conformément aux explications du chapitre II de l'annexe, cette information est envoyée au contrôleur de carrefour ou à un ordinateur de trafic et, par microrégulation locale ou centralisée, une action sur le plan de feux favorise le passage du véhicule (anticipation, prolongation du vert, modification des phases, etc.).

Techniquement, la réalisation de tels systèmes est — de nos jours — bien maîtrisée, aussi bien sur le plan « matériel » que sur le plan « logiciel », parfois fort complexe, dans le cas de priorités sélectives ou conditionnelles.

Sur ce dernier point, il faut noter que la notion de priorité conditionnelle, liée, par exemple, à un certain seuil de retard, peut paraître pernicieuse. En effet, si l'on considère qu'un autobus, de par sa capacité de remplissage, équivaut à 30 ou 50 voitures sur un espace physique de trois voitures, il semble logique d'accepter que le mode normal d'un autobus est d'avoir la priorité, indépendamment de son horaire ou même de son taux de charge (un autobus vide circulant pour aller charger des personnes en attente aux stations).

Les études ont porté sur des carrefours isolés, des itinéraires et des réseaux.

Les conclusions générales sont les suivantes (certaines données sont extraites du rapport n° 43 de l'I.R.T.):

1° La prise en compte en temps réel, aux carrefours isolés ou sur un itinéraire, est très efficace, surtout lorsqu'il n'y a pas de lignes transversales. C'est ainsi que les gains en temps de franchissement sur un carrefour isolé s'échelonnent entre 7 et 28 secondes; le gain en écart-type de temps de parcours varie, quant à lui, de 3 à 64 %.

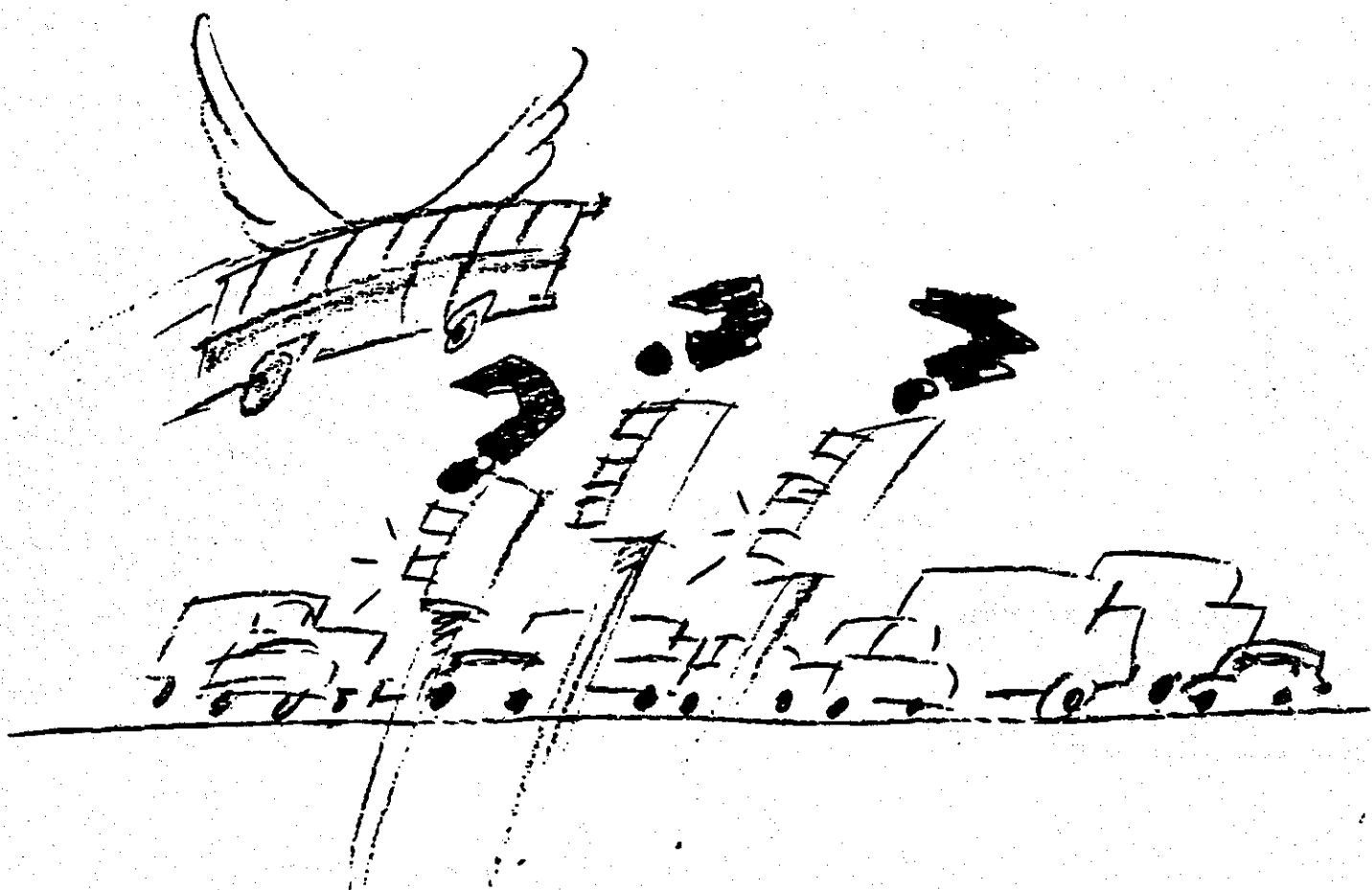
Sur un itinéraire, selon les conditions de circulation, les gains en temps de parcours s'échelonnent entre 5 et 20 %. A ce sujet, l'appréciation des gains nécessite la connaissance des composantes des temps de parcours; ainsi, à BESANÇON, 20 % du temps de parcours d'un autobus est passé en station et 20 % à franchir les intersections.

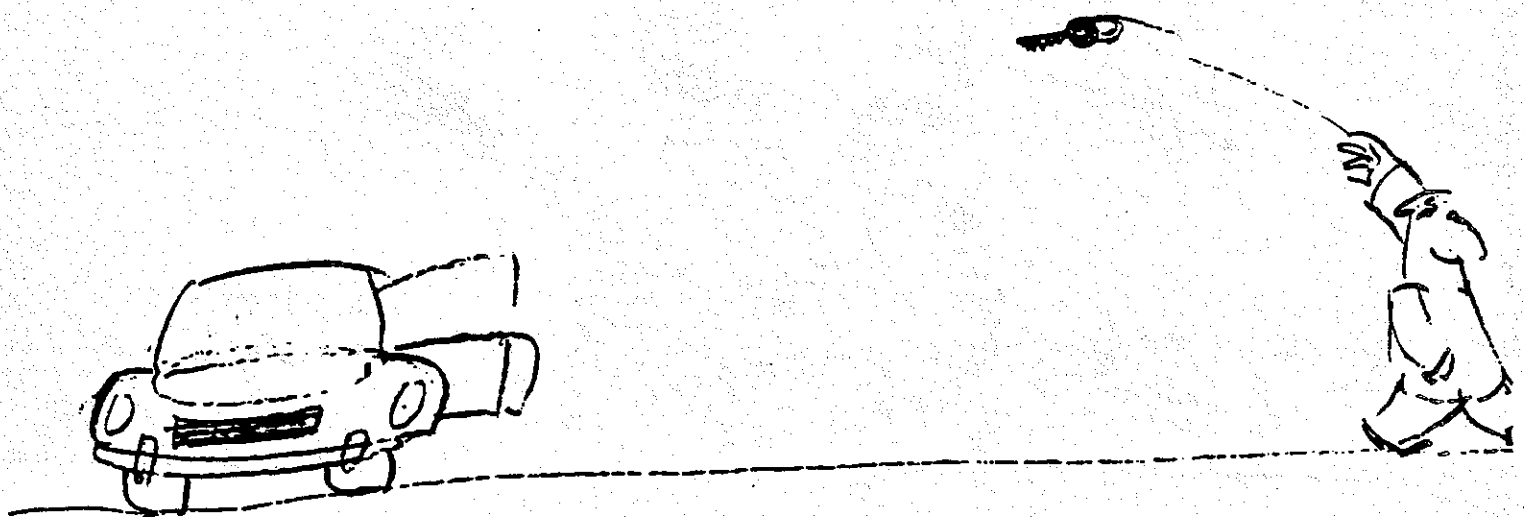
2° En présence de lignes transversales, les gains sont moins importants et sont liés à un seuil de fréquence des autobus — 40 à 60 autobus à l'heure — au-delà duquel la prise en compte des autobus se révèle inefficace, voire même défavorable.

3° Enfin, sur un réseau, des expériences américaines ainsi que des études de simulation font apparaître des gains variant de 6 à 15 % sur les temps de parcours, la gêne pour les véhicules particuliers étant cependant accrue. Des stratégies mettant en place des plans de feux fixes, favorables aux autobus et calculés par des programmes tels que THEBES, semblent être plus efficaces pour l'ensemble des usagers d'un réseau.

4° Tous ces résultats ont été validés avec des conditions de circulation fluide ou modérée et les effets négatifs sur le trafic général sont négligeables (de l'ordre de quelques pour cent). Mais, lorsqu'on approche de la saturation, les remontées de queues sur les transversales entraînent une perte d'efficacité de ces systèmes, les carrefours adjacents se paralysant. Il y a donc lieu, en condition de saturation, d'appliquer avec prudence les systèmes de priorité; des solutions, décrites dans l'ouvrage C.E.T.U.R. « TRAITEMENT DE LA SATURATION » existent et peuvent donner de bons résultats.

En annexe figurent des tableaux récapitulatifs de quelques expériences françaises et étrangères (p. 68 et 69).





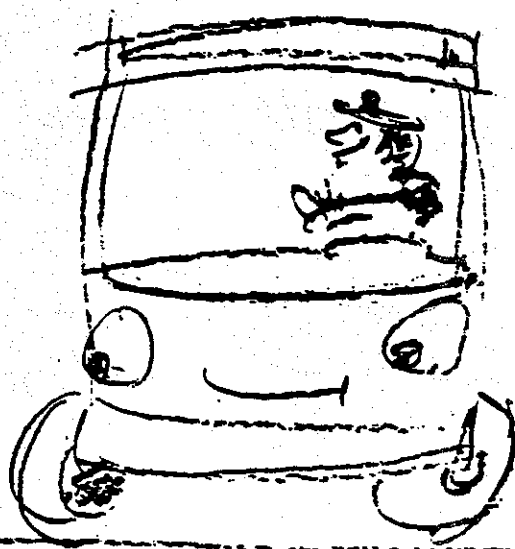
V

S.A.E. ET ÉCONOMIE D'ÉNERGIE

S'il paraît évident qu'un usager, délaissant son véhicule particulier au profit des Transports Publics, contribue à l'économie d'énergie nationale, il semble tout aussi évident que cette vérité statistique indiscutable ne suffise pas à le convaincre.

L'incitation à augmenter le nombre d'usagers des Transports Publics ne sera efficace que si l'on sensibilise personnellement chaque individu et si l'on rend véritablement attractive l'alternative des modes de transports proposés à l'usager.

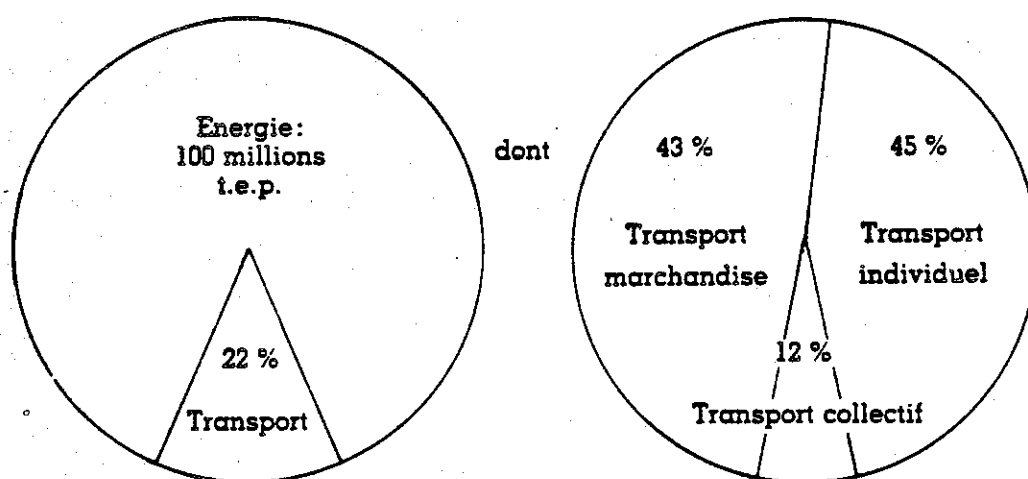
L'objectif de ce chapitre est plutôt d'évaluer l'impact des S.A.E. sur le bilan énergétique des Transports Publics face aux exigences énergétiques des différents modes de transport.



1° Consommation énergétique des différents modes de transport

Selon les informations des rapports « Evolution et prospective de la demande d'énergie dans les Transports » et « Transports urbains et économies d'énergie » — parus dans la revue P.C.M. de décembre 1981 — environ 100 millions de t.e.p. (tonne équivalent pétrole), toutes sources confondues, sont consommées en France chaque année, dont 22 % pour les transports se décomposant comme suit :

- 45 % pour les transports individuels, soit $0,45 \times 0,22 = 9,9$ % de la consommation d'énergie nationale ;
- 43 % pour les transports de marchandises, soit $0,43 \times 0,22 = 9,5$ % de la consommation d'énergie nationale ;
- 12 % pour les Transports Collectifs — dont la moitié en site urbain — soit : $(0,12 \times 0,22) : 2 = 1,3$ % de la consommation d'énergie nationale.



Une autre manière d'aborder les comparaisons des besoins énergétiques des différents modes de déplacements urbains est la transformation en gramme équivalent pétrole par voyageur $\times$ km.

Compte tenu de leur taux de remplissage moyen, les résultats en région parisienne, par exemple, sont les suivants (en g.e.p. : gramme équivalent pétrole) :

Autobus, S.N.C.F. banlieue	: 20 g.e.p. par voyageur $\times$ km
R.E.R.	: 23 g.e.p. (traction)
	: 30 g.e.p. (traction + éclairage équipement électro-mécanique)
Métro	: 24 g.e.p. (traction)
	: 32 g.e.p. (traction + éclairage équipement électro-mécanique)
Automobile	: 72 g.e.p.

Ainsi, en moyenne, par voyageur $\times$ km, la voiture particulière consomme près de 4 fois plus que l'autobus.

Ce rapport augmente pour les déplacements courts, où les voitures sont particulièrement consommatrices en énergie, et aux heures de pointe où le coefficient de remplissage des T.C. module ce rapport atteignant et dépassant 10.

« C'est donc là où les transports collectifs offrent le meilleur niveau de service et sont les plus utilisés, qu'ils sont les plus économes. »

La voiture reste compétitive, voire économe, sur le plan énergétique en zone suburbaine où les transports collectifs restent mal adaptés à une demande diffuse.

2° Economie d'énergie au travers des S.A.E.

Des études d'énergie — faites notamment par le C.E.T.E. de l'Est « Etude de la consommation des autobus en milieu urbain en exploitation normale », mars 1982 — ont mis en relief le coût d'un arrêt véhicule essentiellement dépendant des paramètres de construction et de marche des véhicules, dont : la vitesse avant freinage, le coefficient de charge, le temps passé à l'arrêt, les pentes de voirie, etc.

Ainsi, arrêter un autobus, par exemple à une intersection, coûte entre 1,4 l/heure (arrêt de plus de 60 secondes) et 5 l/heure (arrêt de 5 secondes), le temps moyen d'arrêt en circulation étant de l'ordre de 27 secondes.

Que ce soit par des actions de macrorégulation favorables aux Transports Collectifs (ex. THEBES) ou par des actions de microrégulation autobus, intégrées ou non dans les S.A.E., ces mesures réduisent le nombre d'arrêts des véhicules et conduisent à un gain énergétique de l'ordre de 2 % si l'on considère que les actions en faveur des autobus évitent un arrêt sur deux.

Si l'on examine les coûts d'exploitation des entreprises de Transports Publics, la part énergie représente à elle seule près de 15 % du budget.

Ainsi, une stratégie de régulation favorable aux Transports Publics, facile dans sa mise en œuvre, avec des plans de feux de macrorégulation par exemple, conduit à une économie de près de 3 pour 1 000 sur les coûts d'exploitation.

En pratique, une telle application pour un parc de 200 autobus pourrait signifier :

$500\,000\text{ F} \times 200\text{ autobus} \times 0,003$, soit **300 000 F d'économie**

A l'échelon national, une telle projection aboutirait à :

$100\text{ millions de t.e.p.} \times 0,013 \times 0,02$

soit **26 000 t.e.p. d'économie**

ou encore **26 millions de litres.**

En conclusion, l'impact énergétique des S.A.E. se rajoute aux autres gains.

L'enjeu énergétique est donc à considérer comme une incitation supplémentaire au développement, de manière générale, des transports publics et des Systèmes d'Aide à l'Exploitation, en particulier.

ANNEXE

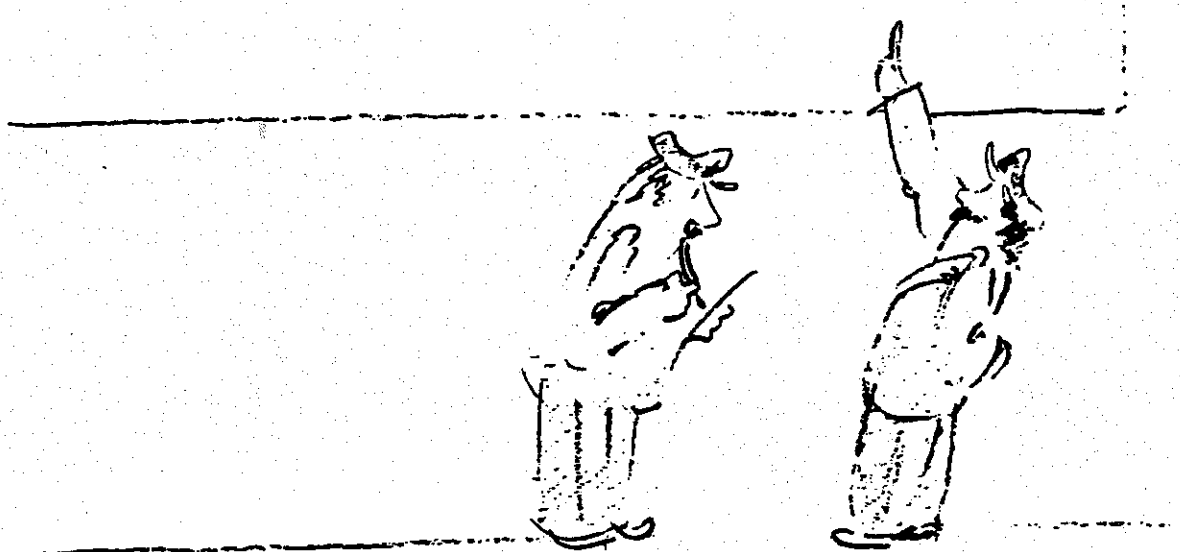
I Examen des notions de battement, ponctualité, régularité, vitesse.

II Action sur les feux en faveur des véhicules de Transports Publics - Exemples et résultats

- 1. Principes**
- 2. Exemples sur carrefour à commande sérielle**
- 3. Exemples sur carrefour à commande logique**
- 4. Tableaux récapitulatifs des gains obtenus au travers des systèmes de prise en compte des autobus aux carrefours**

III Les différentes configurations centralisées Choix des configurations et notions de fiabilité

IV Eléments pour l'élaboration d'un Cahier des Charges



I Examen des notions de battement, ponctualité, régularité et vitesse

1° Temps de battement et ponctualité

Pour définir les temps de battement et la ponctualité, il est nécessaire de préciser quelques notions élémentaires utilisées dans les réseaux d'exploitation des Transports.

- Temps de parcours réel de A à B: c'est le chronométrage effectif d'un véhicule pour parcourir la distance A - B; c'est donc une variable aléatoire répondant à une loi normale.

- Temps de parcours alloué (TPA): ce n'est plus une variable aléatoire, mais un paramètre du tableau de marche; TPA = temps moyen entre le départ et l'arrivée au terminus.

- Temps de course alloué (TCA): $TCA = TPA + \text{battement}$.

- Battement: le temps laissé entre l'arrivée et le départ d'un autobus à un terminus est appelé **temps de battement**; il assure trois types de fonctions (selon un rapport de la R.A.T.P. paru dans « Transports Publics »):

- une fonction PERSONNEL: temps pendant lequel le machiniste assure des opérations de service à terre et se détend;

- une fonction REGULATION et, en particulier, « fiabilité de l'horaire »: plus le battement est important et compte tenu des variations aléatoires de temps de parcours, plus sera élevée la probabilité pour que les départs se fassent à l'heure prévue;

- une fonction GRAPHIQUE: la confection d'un horaire est une tâche complexe, parce qu'elle doit respecter de nombreuses contraintes (temps de parcours alloués variables dans la journée, intervalles aux départs réguliers par période, dessertes spéciales, conditions de travail, gestion des navettes,...). Seule la marge de manœuvre qu'offre le battement permet d'harmoniser ces contraintes et d'aboutir à un horaire. De plus, la complexité d'élaboration d'un horaire est amplifiée par la nature de l'algorithme à employer qui comporte des variables discrètes: les véhicules. Les « pas » correspondants remettent en cause, pour chacun d'eux, l'ensemble du compromis trouvé.

Il faut remarquer que le problème du battement a une incidence directe sur les coûts d'exploitation d'une ligne: le battement coûte. S'il apparaît évident que la réduction du temps de battement diminue les coûts d'exploitation, cette mesure nuit par contre aux deux autres fonctions; il y a donc lieu de rechercher un optimum. La R.A.T.P. dispose actuellement de modèles théoriques pour la recherche des règles de calcul des temps de battement.

Illustration graphique du temps de battement; si nous représentons statistiquement la distribution autour de l'horaire moyen d'arrivée des autobus à un terminus, nous obtenons une courbe à l'allure suivante, σ étant l'écart type.

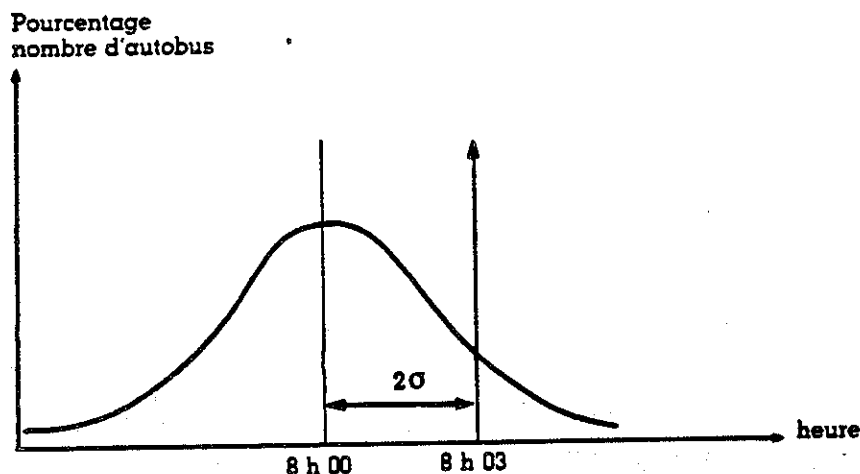


Figure: 1

Les calculs du battement optimal montrent que celui-ci est compris entre 1 fois et 2,5 fois l'écart-type. Pour les lignes à forte fréquence (3 à 6 minutes) la R.A.T.P. prend pour temps de battement 2 fois l'écart-type, ce qui assure la ponctualité à 97,5 % des cas.

Le battement est ici représenté par 2σ . Il est à remarquer que le temps de battement n'est qu'une vérité statistique, c'est-à-dire une espérance (et non une réalité) de battement.

• **Ponctualité:** dans un réseau d'exploitation de Transports Publics, la « ponctualité » signifie le respect de l'horaire de départ aux terminus et aux différentes stations.

Un Système d'Aide à l'Exploitation, grâce à son suivi des autobus complété par un dialogue permanent entre le Poste Central et les véhicules, permet une amélioration de la ponctualité en indiquant à tout moment aux chauffeurs l'avance ou le retard de leur véhicule par rapport à l'horaire théorique.

Les petites variations sont rectifiées, dans la mesure d'un certain degré de liberté, sous la responsabilité du chauffeur; les plus grandes le sont par action sur les feux du carrefour. Notons que, pour des raisons évidentes de sécurité, il ne sera jamais demandé à un chauffeur d'augmenter notablement sa vitesse.

Dans l'exemple de la figure 1, si l'on désire assurer à 97,5 % des cas le départ à 8 h 03, on prendra — comme déjà dit — un temps de battement égal à 2 fois l'écart-type; en effet, voyons graphiquement la relation existant entre la ponctualité et le battement.

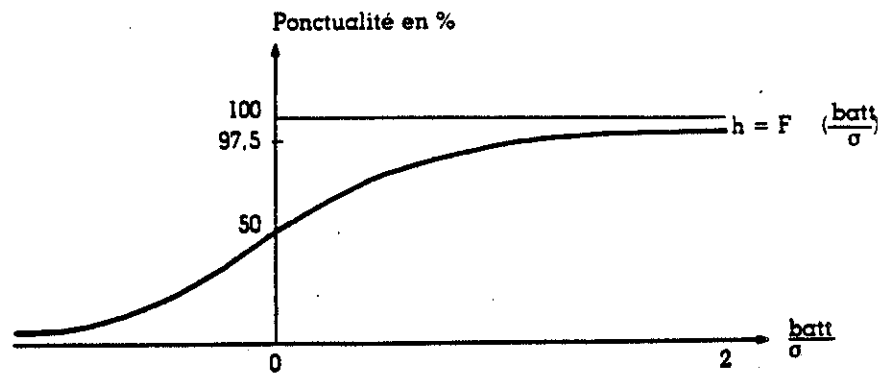


Figure 2

L'écart-type ne pouvant être nul, l'analyse de la courbe donne:

battement = 0	ponctualité (respect du départ) assurée à 50 %
battement = $1 \times \sigma$	ponctualité (respect du départ) assurée à 84 %
battement = $2 \times \sigma$	ponctualité assurée à 97,5 %.

• Amélioration de la ponctualité: elle se traduit par une diminution de l'écart-type, de façon à obtenir une courbe plus pointue autour de la moyenne (diminution de la dispersion).

L'heure de départ se trouve ainsi assurée avec une plus grande probabilité, à plus forte raison si on augmente les temps de battement aux terminus ou si l'on prévoit, à certaines stations principales, des régulations en ligne par le biais des temps de battement assurant le respect des horaires de départ aux stations principales.

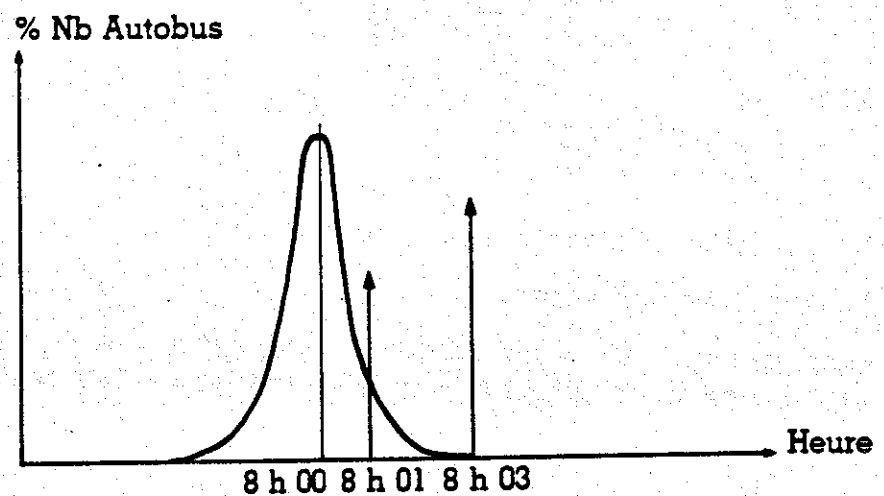


Figure 3

• Quelles sont les conséquences de la diminution de l'écart-type?

Dans ces conditions, si toutes choses égales par ailleurs, l'exploitant a le choix entre:

— diminuer le battement initial (de 3 minutes à 1 minute), ce qui signifie anticipation du départ (augmentation de la fréquence), d'où amélioration de la vitesse de rotation (même ponctualité des départs avec moins de battement);

— ou maintenir le battement initial, ce qui, dans la courbe théorique de la figure 2, revient à assurer le départ à 8 h 03 quasiment dans tous les cas;

— ou rechercher un compromis entre les deux solutions précédentes.

2° Régularité

La régularité sur une ligne se caractérise par la mesure de l'intervalle-véhicules.

Le suivi des véhicules par le S.A.E. permet d'assurer dans de meilleures conditions le respect de la régularité sur les lignes, ce qui contribue à l'amélioration de la ponctualité (moins de dispersion autour des horaires de passage aux stations).

Le suivi d'exploitation des lignes nécessite un contrôle de la régularité. Comment mesure-t-on cette régularité?

Elle peut être donnée par l'écart-type entre les moyennes des intervalles-véhicules. L'amélioration de la régularité se traduit par une minimisation de cet écart-type.

La régularité peut également s'exprimer par la mesure d'un coefficient d'irrégularité comme, par exemple:

$$C^2 = \frac{\text{variance des intervalles}}{(\text{moyenne des intervalles})^2}$$

ou encore:

$$K = \frac{1}{I} \sqrt{\frac{\sum (T_i - T_{pi})^2}{N}}$$

T_i étant l'intervalle observé pour les autobus i .

T_{pi} étant l'intervalle prévu.

Comment sont utilisés ces paramètres? C^2 sert à mesurer l'attente moyenne des voyageurs (hors refusés); en effet, la formule d'attente moyenne est la suivante:

$$A = H \frac{I}{2} (1 + C^2), I \text{ étant l'attente moyenne}$$

Le S.A.E. permet les relevés automatiques des intervalles et, de ce fait, du suivi des coefficients d'irrégularité C^2 ou K .

Il faut noter qu'il existe deux types d'irrégularités:

— l'irrégularité liée aux conditions de circulation;

— l'irrégularité liée à l'exploitant ayant programmé, par exemple, deux départs toutes les 11 minutes, soit à intervalle 6 et 5 mn (les demi-minutes n'étant pas gérées dans l'exploitation du personnel).

3° Vitesse

Il convient de distinguer les vitesses commerciales des vitesses de rotation.

La vitesse commerciale intéresse le voyageur: c'est la vitesse de terminus à terminus, y compris les temps d'arrêts aux stations.

La vitesse de rotation est plus significative pour l'exploitant, car elle inclut les temps de battement aux terminus.

Outre la réduction des temps de trajet due à la diminution des temps passés aux stations et des temps de battement aux terminus du fait de l'amélioration de la ponctualité, l'augmentation de la vitesse s'obtient par deux méthodes cumulables:

- amélioration de l'environnement physique (création de site propre, par exemple);
- mesures pour favoriser le passage des véhicules aux intersections, par action sur les feux (y compris les mesures de gestion de la saturation);

ce qui peut être illustré comme suit:

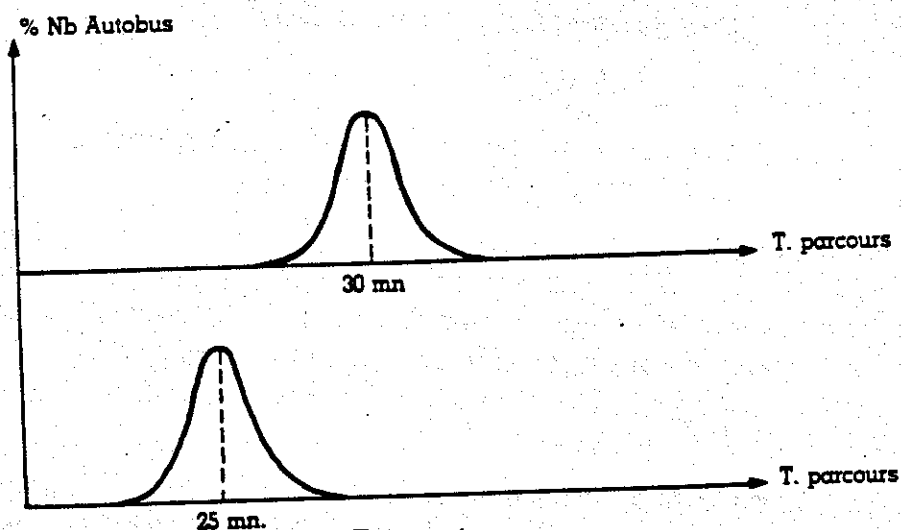


Figure 4

L'augmentation de la vitesse contribue, bien entendu, à rendre plus attractif le mode de déplacement T.C., mais agit surtout sur les coûts d'exploitation; en effet, à fréquence égale sur une ligne, l'augmentation de vitesse peut amener, dans certains cas, une diminution du parc roulant affecté à cette ligne.

Voyons avec un exemple simple les répercussions de l'augmentation de la vitesse sur la taille d'un parc roulant.

Imaginons une ligne de 15 km (aller-retour) se composant de 30 stations équidistantes de 0,5 km. Pour simplifier le raisonnement, supposons:

- le temps de battement cumulé aux 2 terminus égal à 7,5 minutes;
- le temps d'arrêt aux stations négligeable;
- un passage désiré aux stations toutes les 5 minutes;
- une vitesse en ligne de 12 km/h, soit 3,33 m/seconde.

$$\text{Le temps de parcours} = \frac{15\,000}{3,33} = 4\,500 \text{ secondes} = 75 \text{ minutes.}$$

Le temps de rotation est égal au temps de parcours augmenté du temps de battement.

Le nombre de véhicules roulant sur la ligne est alors de:

$$N = \frac{75 + 7,5}{5} = 16,5 \text{ soit } 17 \text{ autobus}$$

Supposons qu'avec un système de prise en compte des T.C.

- on augmente la vitesse de 10 %, de telle sorte que la ligne soit parcourue en 67,5 minutes;
- on diminue les temps de battement de 2,5 minutes, soit un nouveau temps de battement de 5 minutes;
- on garde les mêmes horaires de desserte, soit 1 autobus toutes les 5 minutes;

de combien d'autobus a-t-on besoin sur la ligne?

$$N' = \frac{67,5 + 5}{5} = 14,5 \text{ soit } 15 \text{ autobus}$$

dans cet exemple théorique, en gardant la même cadence de desserte, l'exploitant diminue son parc roulant de 2 autobus.

En réalité, toujours dans le souci d'une plus grande attractivité des Transports Publics, un gain de vitesse pourrait être utilisé par l'exploitant pour réviser ses horaires et prévoir une desserte toutes les 4,5 minutes (2 autobus toutes les 9 minutes), ce qui exigerait le maintien des 17 véhicules; il pourrait ainsi augmenter le temps de battement, pour améliorer la ponctualité très corrélée avec la qualité de service.

La plupart du temps, l'exploitant fera un compromis, en améliorant les horaires et en optimisant son parc véhicules. Si le calcul montre une économie de $\frac{2}{3}$ d'un autobus sur une ligne, le cumul de toutes les fractions donnera un nombre entier de autobus économisés. Notons également que le parc initial (avant augmentation de la vitesse) incluait aussi des arrondis supérieurs (ou des autobus de réserve). Si le calcul démontre que le parc peut être réduit de 17 autobus à 16,5 autobus, l'exploitant pourra, dans certains cas, travailler avec 16 autobus. Retenons que l'accroissement de la vitesse se traduit par un gain de temps et que TOUTE SECONDE EST BONNE A PRENDRE DU MOMENT QU'ON SAIT LA METTRE EN ÉVIDENCE.

II. Action sur les feux en faveur des véhicules de transports publics autobus. Exemples et résultats

1° Principes

La priorité de passage des autobus aux carrefours peut se faire selon deux méthodes non exclusives :

- utilisation de programmes de macrorégulation, donnant aux autobus une plus grande probabilité de rencontrer les feux au vert ; ceci est obtenu par calcul, grâce à des optimisations élaborées par des programmes tels que TRANSYT ou THEBES, à partir des valeurs les plus probables et des dispersions des temps de parcours — arrêts compris — de ligne de feux à ligne de feux. Le suivi des autobus en ligne apporte une excellente connaissance des données nécessaires à l'élaboration des plans de feux (c'est, en particulier, le cas des systèmes d'aide à l'exploitation des Transports Collectifs Urbains s'intéressant au suivi en temps réel de la position de tous les autobus ; par exemple : STRASBOURG, NANCY...

Il est à noter que ces solutions ne sont que peu pénalisantes pour les véhicules particuliers. Elles sont notamment indiquées dans les zones à fort niveau de trafic et tout spécialement pour les carrefours empruntés par plusieurs lignes d'autobus (ne serait-ce que les deux sens d'une même ligne).

Dans le cas où les plans de feux mis en place sont choisis par une analyse des conditions de trafic, il est souhaitable que le Poste Central « suivi des autobus » fournisse au Poste Central « régulation » les données nécessaires à cette analyse sous une forme directement utilisable. En particulier, lorsque les plans de feux sont choisis par la méthode du vecteur (c'est le cas le plus fréquent en France), les conditions de circulation des principaux tronçons empruntés par les autobus peuvent être caractérisées par un paramètre présenté sous la même forme que les autres composantes du vecteur élaborées à partir de la saisie du trafic général, ce qui équivaut à accroître le nombre de dimensions du vecteur. Cette procédure permet de choisir le plan de feux le mieux adapté aux conditions de circulation réelles des autobus, tout en tenant compte de la physionomie de la circulation générale.

Des études ont montré que l'application de programmes tels que THEBES ou TRANSYT apportent des gains de temps de parcours pour les autobus pouvant atteindre de 10 à 20 % dans la traversée de certaines zones sous contrôle centralisé et, ce, par rapport aux modèles ne tenant pas compte des autobus. Parallèlement, la gêne apportée aux véhicules particuliers est d'environ 5 % pour ceux empruntant les itinéraires autobus et de 10 à 20 % pour ceux circulant en dehors de ces itinéraires. La vitesse moyenne des autobus peut être augmentée de 8 % sur toute la journée, alors que la gêne moyenne des véhicules particuliers a été mesurée entre 5 et 12 %.

Les actions de macro-régulation agissant sur la coordination ne doivent pas faire oublier que les contraintes de réglage des temps maximum et minimum de verts, inhérentes à l'existence d'une macro-régulation **essentiellement justifiée pour les véhicules particuliers**, peuvent nuire considérablement à l'action des programmes de micro-régulation et, par voie de conséquence, à l'efficacité de la prise en compte pour les Transports Publics.

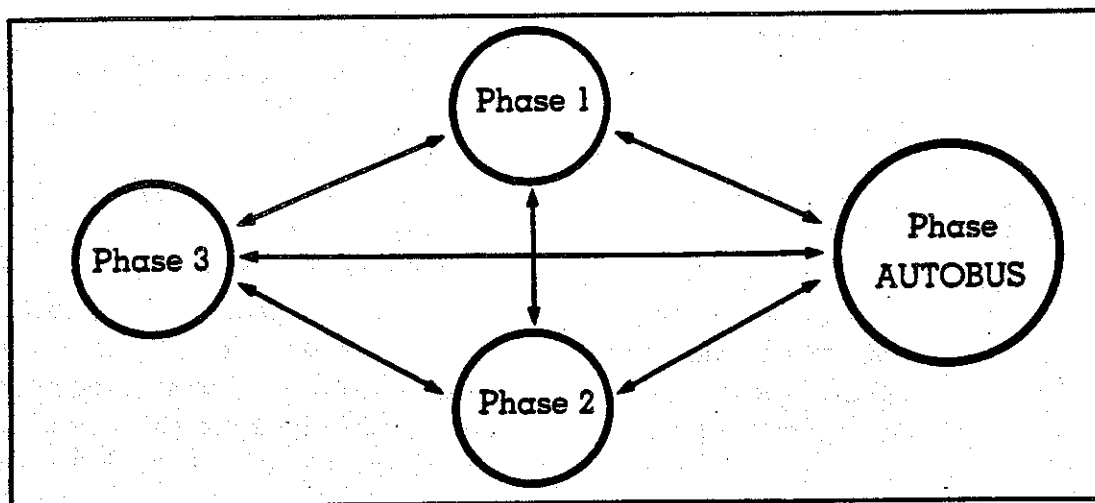
- utilisation de programmes de microrégulation, conformément à trois techniques couramment utilisées :

- action de prolongation ou d'anticipation de vert, suite à une détection de l'approche d'un véhicule prioritaire, lorsque l'algorithme calculant l'instant probable d'arrivée de l'autobus à la ligne de feux conclut que celui-ci sera arrêté par le rouge. A quelle distance faut-il détecter les autobus ?

En fonction de la vitesse moyenne d'approche des autobus aux carrefours, en fonction du temps maximum de prolongation ou d'anticipation du vert « feu autobus », on calcule la distance du point de localisation. Pour un cycle de 60 secondes, avec 15 secondes de prolongation et une vitesse d'approche de 10 mètres/seconde, le point de détection sera à 150 mètres de la ligne de feux.

Un deuxième point de localisation, situé au niveau de la ligne de feux de carrefour, peut être utilisé pour couper l'action de priorité, le véhicule ayant franchi l'intersection.

- appel d'une phase spéciale « autobus » ou d'une structure favorable au passage de ceux-ci ; exemple : phase autobus pouvant être appelée après n'importe quelle phase ;



- modification de l'enchaînement des lignes de diagramme du plan de feux, possible uniquement avec les contrôleurs à commande logique.

En fait, tous les schémas de phase présentés ci-dessus utilisent deux principes :

- a) calcul prévisionnel de l'instant d'arrivée du véhicule à la ligne de feux du carrefour ; ce calcul tient compte de la vitesse moyenne (statistique) d'approche du véhicule, de sa dispersion et peut être effectué :

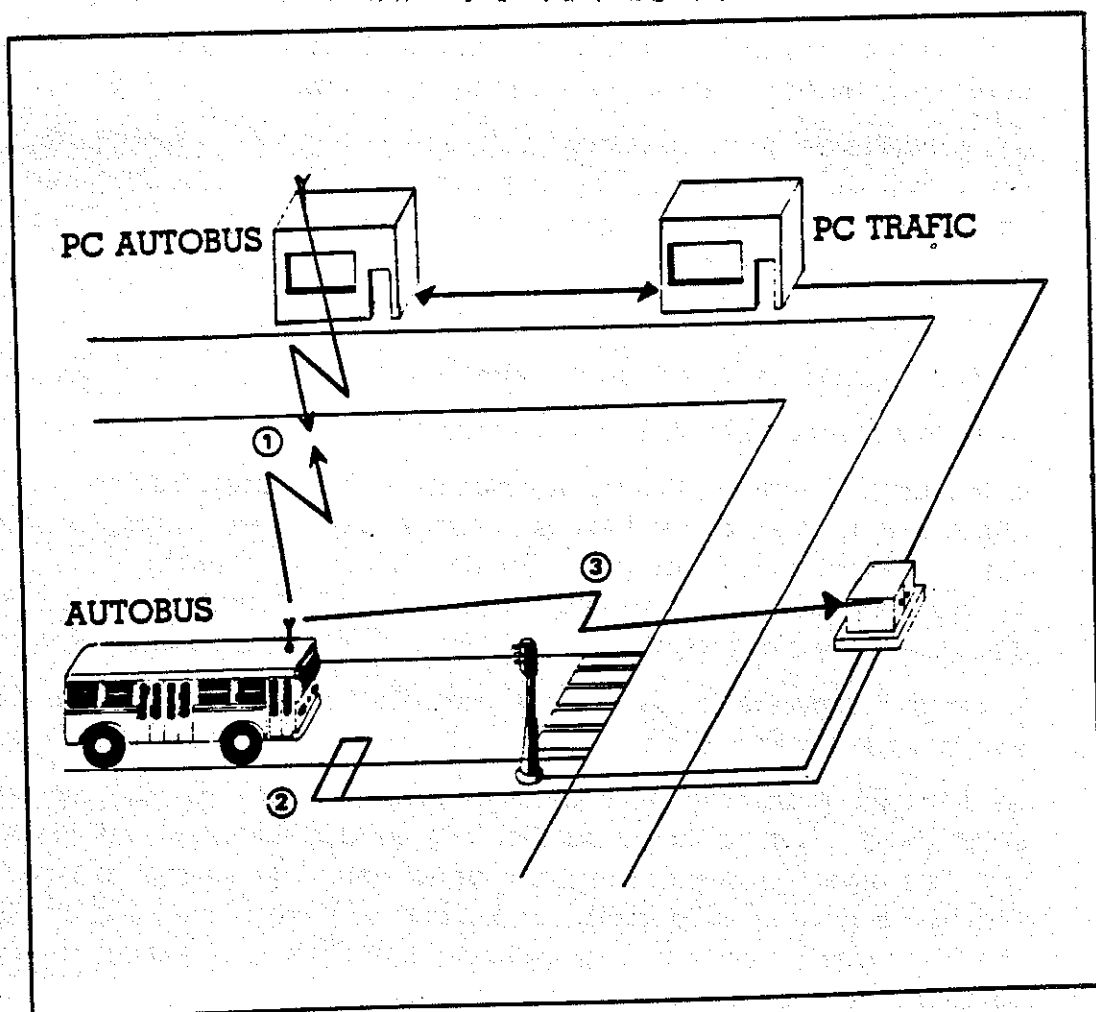
- soit par le poste central, si le contrôleur de carrefour est centralisé;
- soit par le contrôleur de carrefour, si celui-ci est isolé.

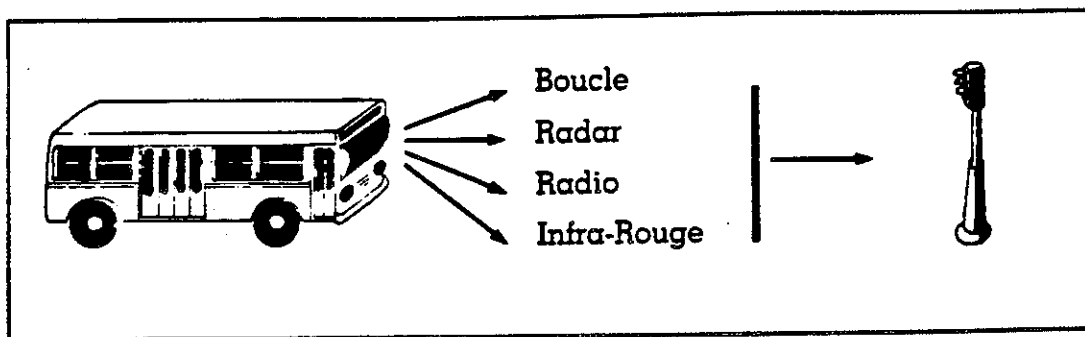
Dans les deux cas, l'activation de ce programme prévisionnel peut être faite dès l'arrivée de l'autobus sur un point précis d'approche du carrefour (boucle, radar, balise...), ou lorsque le pointeur d'avancement plan de feux atteint des points de « décision » programmés, auquel cas le programme de calcul demande la localisation précise du véhicule, information nécessitant une autre action activée par le poste central des T.C.

b) Action sur le contrôleur du carrefour.

Prévenir de son arrivée, donner un ordre au carrefour peuvent se faire selon plusieurs schémas.

- Le véhicule, ayant atteint un point précis, le signale par radio à son poste central. ①
- Le point précis de détection peut également être une boucle reliée au central. ②
- l'autobus peut agir simultanément sur le contrôleur de carrefour et sur le poste central (pour le prévenir, par exemple, de sa demande de priorité). ③





— l'autobus agit directement sur le carrefour, éventuellement avec un autre support de transmission (radar, infra-rouge ou radio) que le support habituel du S.A.E.

Le dialogue entre le système de régulation du trafic et le S.A.E. a tout intérêt à se faire au travers d'une interface standard pour les liaisons s'effectuant directement avec les contrôleurs de carrefours.

« Interface Standard »

Il s'agit de définir un matériel présentant les demandes de priorité sous une forme unique quels que soient les S.A.E. et les villes ou Collectivités Locales concernés.

Cette **demande** de prise en compte doit rester maîtrisée par l'exploitant qui, seul, possède les éléments lui permettant de l'inhiber, de la moduler et de gérer ses propres conflits entre lignes ou entre bus.

Les dispositifs de commande des feux qui ne sont pas de la responsabilité de l'exploitant des Transports Collectifs accéderont à la demande selon des critères de type d'action et d'environnement qui auront fait l'objet d'une négociation carrefour par carrefour.

Les dispositifs de commande des feux rendront compte :

- de l'acquis de la demande de prise en compte ;
- de la suite à donner à cette demande.

Ces principes doivent être applicables avec des carrefours centralisés ou autonomes et avec des véhicules faisant l'objet d'une localisation permanente (± 20 m) ou non ; dans tous les cas de figure, on aura :

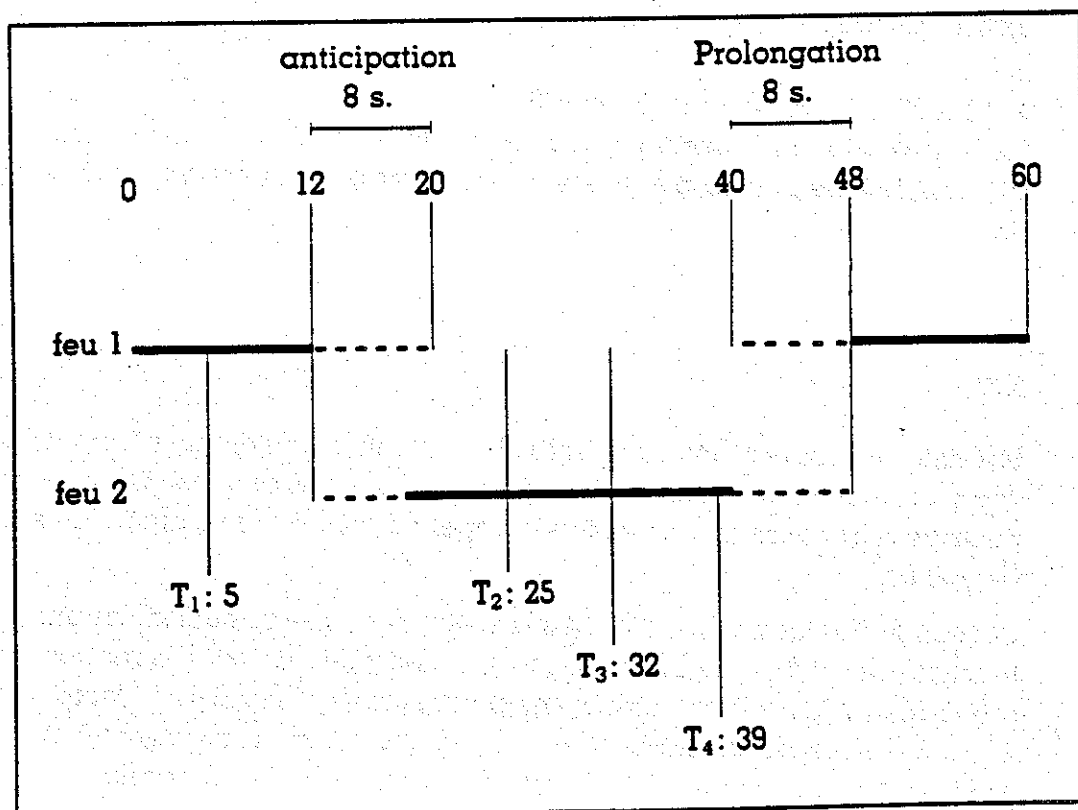
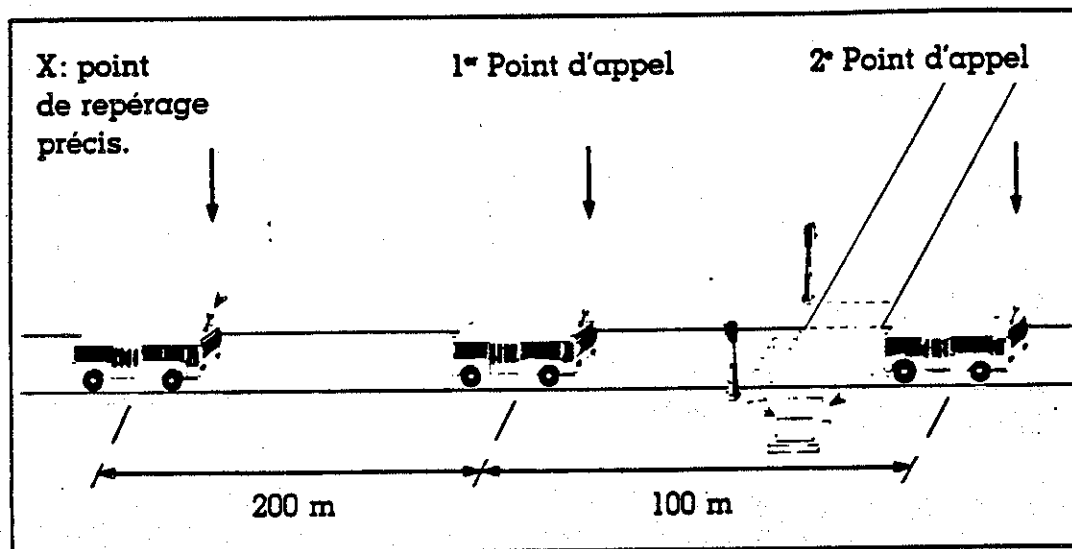
- l'adressage d'une demande de prise en compte, lorsque le véhicule franchit « une ligne d'approche » ou se trouve à X secondes de la ligne de feux ;
- l'inhibition de l'action en cours, lorsqu'elle n'est plus nécessaire, c'est-à-dire lorsque le véhicule de transport collectif a franchi la ligne de feux.

La demande, transmise par l'interface standard, sera codée selon un signal de trois « bits ». On peut ainsi codifier 8 demandes différentes, ce qui permet soit d'exprimer un degré d'urgence de la demande suivant la nature du véhicule à privilégier (autobus, trolley-bus, tramway, etc.), soit d'indiquer l'itinéraire que va emprunter le véhicule (tout droit, tourne à droite, etc.), si plusieurs solutions sont possibles.

L'interface devra pouvoir restituer un compte rendu systématique — également sur trois poids binaires — de l'action effectivement réalisée sur le terrain pendant la durée de la demande.

Les échanges d'informations se feront alors toujours de la même façon, ce qui permet de diminuer les coûts et de faciliter les contrôles d'exécution.

2° Exemple sur carrefour à commande sérielle



La priorité du véhicule à l'approche du groupe n° 2, peut être effectuée par anticipation ou par prolongation du vert sur le groupe de feux n° 2 de la manière suivante: lors du passage devant le point «X», le micro-ordinateur de bord sait, par programmation, qu'à 200 mètres il sera sur le point d'appel n° 1: le compteur de roues mesure les 200 mètres; l'autobus signale alors à l'ordinateur son passage à 12 h 03 mn 10 s sur ce point.

Connaissant la vitesse moyenne de l'autobus (par exemple: 10 m/s), ainsi que la distance du point d'appel n° 1 à la ligne de feux du carrefour (par exemple: 100 m), l'ordinateur calcule qu'il faudra 10 secondes à l'autobus pour arriver au feu n° 2.

Le déroulement du plan de feux étant mémorisé dans l'ordinateur, celui-ci regarde le pointeur de temps dans le plan de feux à l'instant 12 h 03'10".

Quatre cas peuvent se présenter; ils sont indiqués dans l'exemple ci-dessous:

1. L'instant 12 h 03' 10" correspond à $T_1 = 5$ secondes; sachant qu'il faut 10 s au véhicule pour atteindre la ligne de feux, l'ordinateur regarde l'image du plan de feux à l'instant $T_1 + 10 \text{ s} = 15 \text{ s}$, l'anticipation est possible, elle est donc accordée;

2. 12 h 03' 10" correspond à $T_2 = 25 \text{ s}$.
 $25 + 10 = 35 \text{ s}$. Le véhicule passera normalement dans la phase;

3. 12 h 03' 10" correspond à $T_3 = 32 \text{ s}$.
 $32 + 10 = 42 \text{ s}$. L'autobus pourra passer avec de la prolongation; l'ordinateur prolongera donc le feu n° 2 jusqu'au passage au point d'appel 2 qui sera le critère de coupure de prolongation;

4. 12 h 03' 10" correspond à $T_4 = 39 \text{ s}$.
 $39 + 10 = 49 \text{ s}$; or, la prolongation maximale ne va que jusqu'à la seconde 48: l'autobus ne pourra pas passer; aucune prolongation ne sera donc accordée.

N.B.

Sur des carrefours isolés ou centralisés, les autobus conservant leur adaptativité à bord, le raisonnement est le même. L'autobus émet les informations de passage à la balise ou aux points d'appel du contrôleur équipé d'un système récepteur.

Les points X et les points fictifs peuvent être des boucles ou radars, auquel cas le micro-ordinateur de bord réagit au passage et active une réponse identique à celle explicitée ci-dessus. Les processus de décision sont localisés dans les contrôleurs de carrefour. Les carrefours seront éventuellement pris en compte ultérieurement au P.C. qui fixe leur degré d'autonomie.

3° Exemple sur carrefour à commande logique

Certains contrôleurs de carrefour permettront un fonctionnement acyclique. Dans ce cas, les contrôleurs commandent individuellement chaque groupe de feux, ce qui supprime la notion de phase de trafic et permet :

- d'activer un groupe particulier à n'importe quel moment du plan de feux acyclique ;
- la construction dynamique du plan de feux, afin que dans toutes les structures d'approche d'un véhicule au carrefour, le passage de celui-ci puisse être assuré sans arrêt.

La commande logique permet en outre :

- de mettre un groupe de feux au rouge dès qu'il n'y a plus de circulation des flots correspondants ;
- de mettre un feu au vert dès que tous les « inter-verts » avec les groupes de feux incompatibles sont écoulés ;
- de programmer la priorité d'attribution de vert entre plusieurs feux antagonistes ; cela suppose l'élaboration et l'introduction d'un algorithme de décision, ainsi que l'existence d'un programme de calcul des phases transitoires (ce qui équivaut à engendrer un très grand nombre de phases différentes).

Ainsi, en fonction des débits de trafic et de la matrice de sécurité câblée au niveau du bornier, la logique du contrôleur décidera et accordera le vert aux groupes les plus chargés ou prioritaires et aux groupes non antagonistes.

Application autobus : un groupe de feux autobus peut être programmé de telle sorte qu'il soit prioritaire à tout moment par rapport aux autres groupes de feux.

Ce type de contrôleur — efficace sur les carrefours complexes — est néanmoins d'utilisation délicate car l'algorithme de décision — dressé par l'ingénieur trafic — doit analyser en permanence les conditions de maintien ou de changement de l'ensemble des groupes de feux.

4° Tableaux récapitulatifs des gains obtenus au travers des systèmes de prise en compte des autobus aux carrefours

Deux tableaux sont présentés aux pages suivantes :

- l'un pour les carrefours isolés,
- l'autre pour les itinéraires ou réseaux.

Carrefours isolés

LIEU	Gain en temps de parcours (s)	Gain en écart type (%)	Observations
PARIS Barbès/Doudeauville			
Direction Sud	15,7	49 %	
Direction Nord	7,0	18 %	
PARIS Barbès/Château Rouge			
Direction Sud	10,1	53 %	
Direction Nord	9,4	— 4 %	
PARIS S. Bolivar/Belleville			
Direction Sud	27,2	44 %	
Direction Nord	12,8	36 %	
LEICESTER	7,0		La proportion de temps de parcours supérieurs à 1 mn est passée de 47 à 36 %
DERBY			
Matin	22,3	75 % des	Une phase peut être escamotée
Soir	20,3	temps de parcours inférieurs à 31 s au lieu de 66 s	
BERNE			
Heures de pointe	28,0		Cycle à 4 phases. La phase verte peut être décomposée en deux mini-phases
Heures creuses	13,5		
Simulation (60)			Carrefour adaptatif — prolongation du vert seul — prolongation + changement de phase anticipé
	0 à 8 s		
	4 à 24 s		
IVRY			
Heures de pointe	17,2	10 %	
Heures creuses	6,7	3 %	
PARIS			
Drouot/Provence	11,0	64 %	Couloir réservé
Simulation DERA/I.R.T.	1,5 à 15,7		

Itinéraires ou Réseaux

LIEU	Nombre de carrefours	Gain total temps de parcours en s	Gain en moyenne par carrefour en s
NEUILLY	6.		
Direction Paris		64	10,7
Direction Courbevoie		86	14,3
NICE			
Axe Est-Ouest	21	126	6,0
Axe Ouest-Est:			
Tronçon Ouest	10	57	5,7
Tronçon Est	9	27	3,0
MIAMI	36		
Pointe du matin		306	8,5
Pointe du soir		474	13,2
GLASGOW	Réseaux	Gain de 7 à 9 % sur la vitesse moyenne des autobus, avec un plan de feux établi grâce à TRANSYT V	

III. Les différentes configurations centralisées

En gestion centralisée, le poste central connaît la localisation précise de chaque véhicule et gère ainsi les priorités de manière sélective. De plus, les modifications d'horaires et de profil de ligne sont plus faciles à réaliser en gestion centralisée ou hiérarchisée.

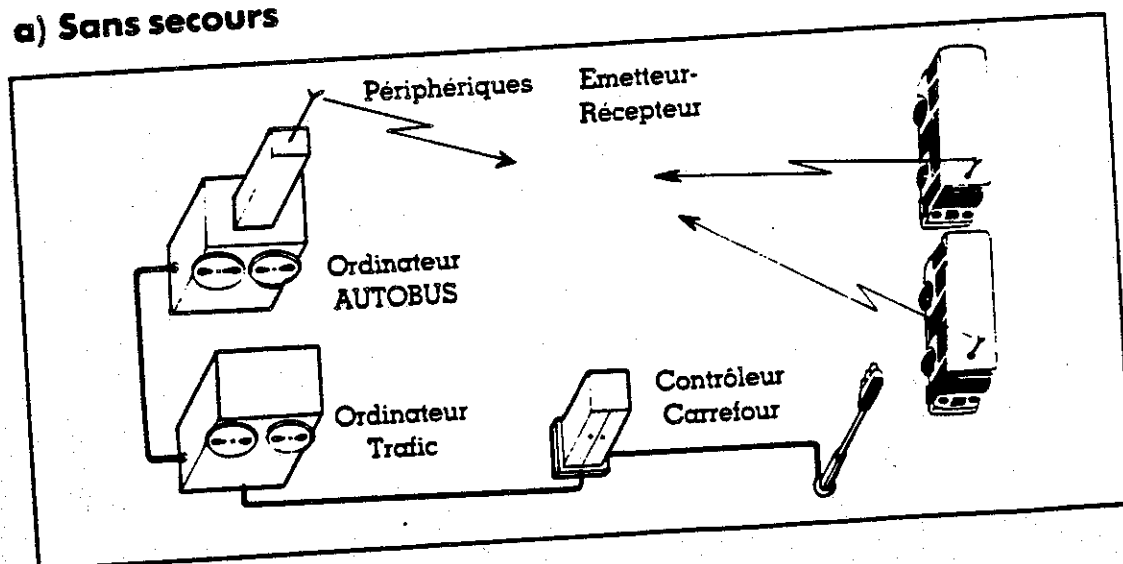
Les actions corrélées entre autobus, les facilités de maintenance et de suivi du réseau justifient l'exploitation courante de systèmes centralisés.

Abstraction est faite des équipements propres à l'ordinateur de trafic qui, quand il existe, ne contrôle qu'un certain nombre de carrefours empruntés par les lignes d'autobus.

Dans les schémas qui suivent, il n'est pas fait état des organes de transmission qui, dans certains cas, sont des frontaux, véritables calculateurs en amont et en aval de l'ordinateur principal.

1. Les configurations centralisées

a) Sans secours



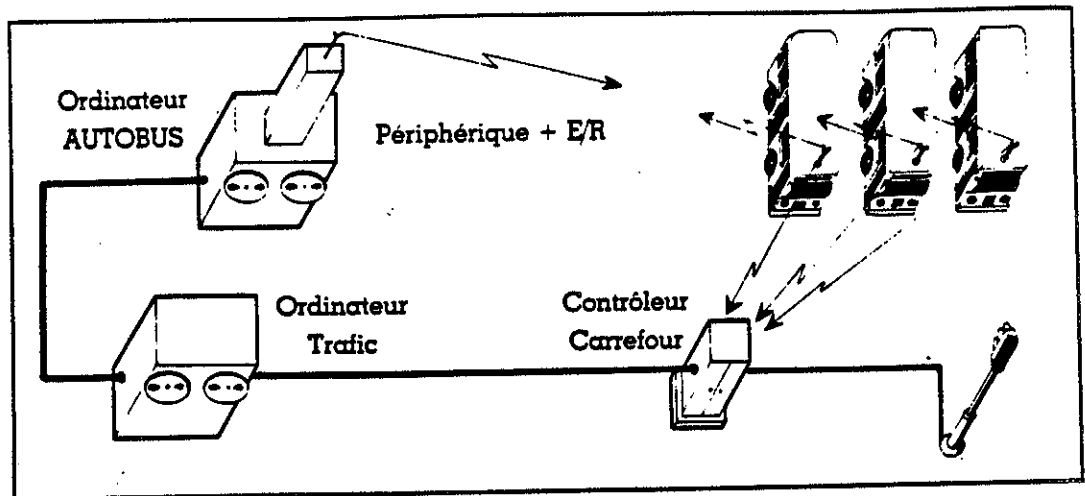
• Avantages

- technique et maintenance simples,
- coût moins élevé,
- cf. Élément de réflexion § 3.

• Inconvénients

- aucun secours en cas de défaillance de l'ordinateur principal, les autobus ne font plus l'objet d'un suivi;
- la maintenance préventive provoque l'arrêt.

b) Mode dégradé sur le site



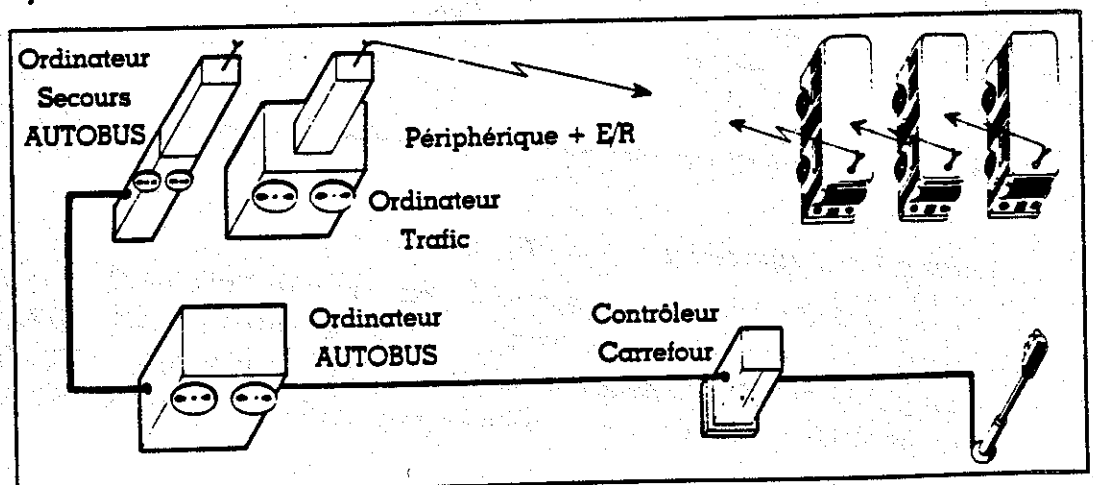
• Avantages

- dito a)
- en cas de panne ordinateur (AUTOBUS ou trafic), une action systématique est faite sur le site : les autobus attaquent via radio ou boucle chaque contrôleur équipé et bénéficient ainsi d'une priorité.

• Inconvénients

- toutes les fonctions ordinateurs autres que l'action sur les feux sont bridées (en cas d'arrêt de l'ordinateur T.P.U.);
- l'efficacité de l'action en secours n'est pas toujours évidente car, n'étant plus centralisée, elle ne tient pas compte des positions réelles des véhicules (diagrammes, espace, temps) ni des conditions de circulation;
- équipement complémentaire à insérer dans chaque véhicule et dans les armoires récepteurs;
- la maintenance préventive provoque l'arrêt.

c) Ordinateur de secours



L'ordinateur principal est secouru par un ordinateur plus simple assurant les fonctions élémentaires en cas de défaillance de l'ordinateur principal T.P.U.

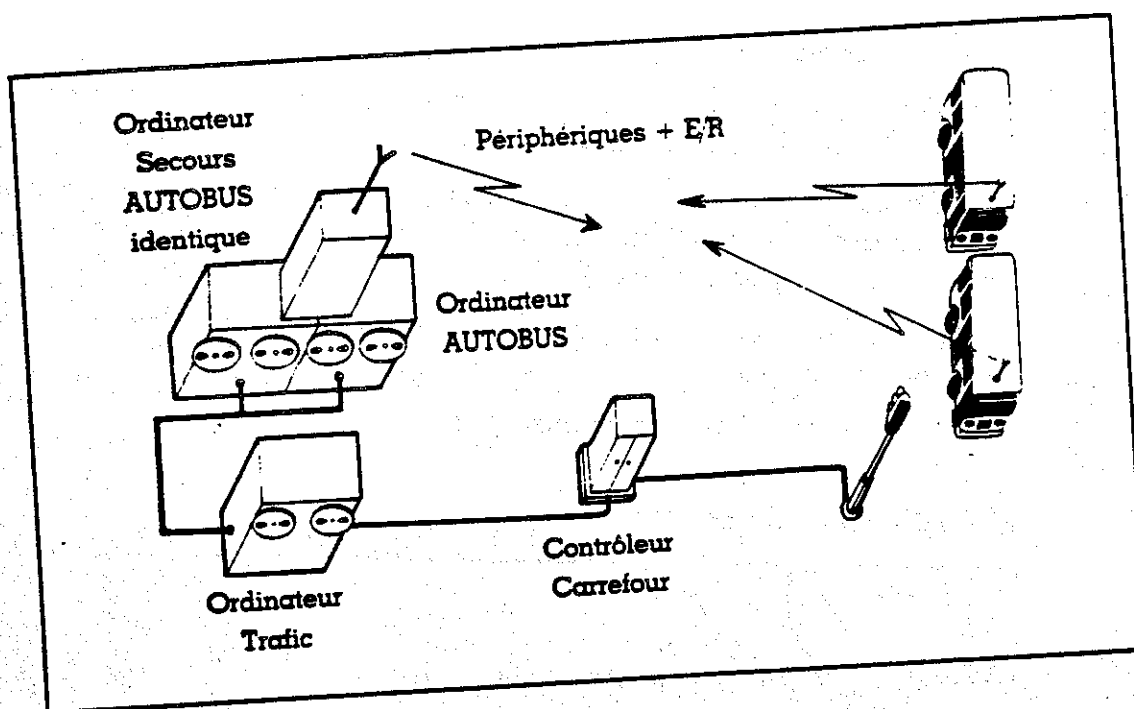
• Avantages

- réel secours en cas de défaillance de l'ordinateur principal,
- allègement de l'ordinateur principal car exploitation possible sur l'ordinateur de secours (statistiques,...)

• Inconvénients

- l'ordinateur de secours est souvent différent de l'ordinateur principal et nécessite ses propres périphériques de fonctionnement, d'où solution financièrement discutable et problèmes de pièces détachées;
- deux ordinateurs différents exigent souvent l'écriture et la maintenance de programmes légèrement différents, soit de par leur langage, soit de par les fonctions assurées (généralement plus simplistes dans l'ordinateur de secours disposant de capacité mémoire inférieure à celle de l'ordinateur principal).

d) Doublement de l'ordinateur principal



Les deux ordinateurs travaillent:

- en parallèle: même contenu mémoire, même état d'avancement des programmes, l'ordinateur principal (l'un des deux) conversant réellement avec les périphériques; une panne de l'un d'entre eux n'est pas perçue au niveau du terrain; seul, l'opérateur détecte une défaillance à l'aide des messages d'alarme.

— en alternative (Maître-esclave): l'ordinateur de secours est soit en attente, soit utilisé pour d'autres traitements; en cas de défaillance de l'ordinateur maître, les périphériques commutent de l'un sur l'autre et l'ordinateur esclave interrompt ses programmes et/ou démarre les tâches d'exploitation des T.P.U., moyennant un léger différé.

● **Avantages généraux:**

- secours très performant: probabilité de pannes pratiquement nulle; maintenance préventive pouvant être distincte dans le temps et n'engendrant aucun arrêt;
- programmes identiques aux deux ordinateurs, d'où facilité de maintenance et de stock pied machine;
- périphériques communs;
- financièrement, le deuxième ordinateur peut être négocié au prix hardware uniquement, le soft étant payé avec l'acquisition du premier ordinateur.

● **Inconvénients:**

- complexité électronique au niveau du couplage et de la reprise en temps réel,
- contrat de maintenance élevé.

2. Fiabilité

Dans l'étude des différentes configurations des systèmes d'aide à l'exploitation des T.P.U., il est intéressant de mesurer les fiabilités et l'efficacité de celles-ci et ceci pour permettre un choix optimal prenant en compte des valeurs de qualité de matériel par rapport aux coûts et aux services proposés.

Un des critères de fiabilité des systèmes électroniques est la M.T.B.F. (temps moyen entre pannes) à laquelle il faut ajouter les temps d'indisponibilité dus à la recherche des pannes et au dépannage (M.T.T.R.).

Les résultats actuels donnent à titre indicatif, un temps d'arrêt ordinateur environ égal à 3 demi-journées/an auquel il convient de rajouter la maintenance préventive et les travaux (rares) de reconfiguration pouvant être assimilés à des jours d'arrêt ordinateur, celui-ci n'effectuant plus ses tâches ordinaires mais des programmes tests...

Sans dispositif de secours particulier, le bon fonctionnement pourrait donc être estimé à environ 95 à 98 % du temps de fonctionnement.

Plusieurs types de configurations sont envisageables pour augmenter la disponibilité du système. En fait, afin d'avoir une véritable idée de cette disponibilité, il est nécessaire de dissocier la prise en compte aux carrefours des autres objectifs du système.

3. Éléments de réflexion - Choix des configurations

Le bon fonctionnement d'un système simple est assuré sur des considérations uniquement matérielles, à 98 % du temps d'utilisation.

Quels sont les autres éléments pouvant gêner ce bon fonctionnement?

- les arrêts de travail du personnel d'exploitation;
- les interruptions autres que celles du personnel d'exploitation:
- électricité (les alimentations de secours ont une durée limitée dans le temps: de 5 minutes à quelques heures);
- manifestations populaires, ...
- Les conditions climatiques: brouillard, verglas, perturbations des propagations hertziennes;
- les conditions de circulation: travaux, ruptures de canalisations, ...

Il s'avère que tous ces éléments réunis induisent un taux de mauvais fonctionnement du système, taux supérieur à celui de pannes électroniques des dits systèmes. Il ne faudrait pas que, par souci de perfectionnisme, par besoin intérieur de se sécuriser, par satisfaction intellectuelle, les responsables choisissent des solutions élégantes sans avoir fait un bilan économique du surcoût et des avantages qu'on en retire.

Les systèmes doublés ou à structure dégradée réduisent quasiment à zéro, certes, les 2 % de taux de pannes dues à des défaillances électroniques, mais n'ont aucun impact sur les quelques pour cent extérieurs au système.

Le choix de la configuration se fera en évaluant les divers critères d'efficacité et en les comparant aux rapports qualité/prix des différentes solutions, en mesurant l'impact économique et attractif des solutions à disponibilité sensiblement équivalente.

Quelques organes de S.A.E., relativement peu onéreux, tels que:

- l'alimentation,
 - les postes émetteur-récepteur au central,
 - certains périphériques essentiels,
 - les coupleurs de transmission,
- justifient entièrement, de par leurs fonctions vitales, leur doublement.

L'aide à la décision, quant à la solution adoptée, estimera la valeur des systèmes en fonction:

- du service recherché,
- de l'efficacité du système retenu,
- de la disponibilité et de la fiabilité,
- des coûts,
- de l'impact sur l'image de marque aux yeux du public.

IV. Éléments pour l'élaboration d'un cahier des charges

L'objectif de ce chapitre est de fournir des éléments de travail destinés aux personnes chargées d'établir un Cahier des Charges en vue de la consultation d'entreprises pour la fourniture de S.A.E.

Ces éléments visent à guider la rédaction de façon à ce que les industriels puissent développer une (ou deux) famille(s) de produits garantissant la possibilité d'intégrer les extensions futures — telles que les logiciels de régulation et les « images » pour les contrôleurs de ligne — et permettant de diminuer le coût des équipements grâce aux effets de série.

Les pièces: règlement de l'appel d'offres, actes d'engagement, cahier des clauses administratives, état et décomposition des prix forfaitaires, bordereau des prix d'unités, plans et planning prévisionnel, ne sont pas traitées.

Seuls font l'objet d'une description sommaire les éléments du Cahier des Clauses Techniques pour lesquels les renseignements donnés ont fait l'objet d'une réflexion approfondie: leurs développements détaillés sont disponibles au C.E.T.U.R.

A - Objectifs généraux du S.A.E.

Il s'agit de définir les missions des systèmes, et plus précisément l'analyse fonctionnelle, en adaptant les informations données aux chapitre I et II de cette note et en la complétant par les objectifs spécifiques du cas particulier traité.

B - Présentation du réseau de transport public

Cette partie doit permettre aux fournisseurs de S.A.E. de connaître les régimes juridiques des Maîtres d'Œuvre et d'Ouvrage et la description du réseau actuel ainsi que ses évolutions possibles avec, en particulier, les caractéristiques précises des lignes, du parc de véhicules — y compris les véhicules de service — et les principaux éléments statistiques disponibles.

C - Fonctionnement du réseau

Quels sont les moyens d'aide à l'exploitation dont dispose actuellement le réseau?

Quels sont les aménagements dynamiques facilitant la circulation des autobus?

Ce chapitre décrit de manière précise les moyens existant, tels que, par exemple: le radio-téléphone, les matériels d'exploitation au sol et embarqués (oblitérateurs, tapis sensible, etc.), ainsi que les divers capteurs embarqués disponibles.

Les fournisseurs devront intégrer ce matériel dans le S.A.E. demandé; aussi est-il essentiel de préciser l'aspect technique de ces produits.

De même, l'existence de systèmes de prise en compte des autobus au niveau des carrefours ou de gestion centralisée du trafic doivent faire l'objet d'une description minutieuse, afin d'en faciliter l'intégration.

D - Systèmes d'aide à l'exploitation

1. Principes généraux de fonctionnement du système à terme

Description précise des tâches temps réel et différé au niveau du Poste Central, des véhicules, des arrêts commerciaux, etc...

2. Architecture du système

Bien qu'en toute rigueur il ne soit pas de l'intérêt du Maître d'Œuvre de choisir une architecture système détaillée — il est préférable d'en laisser le choix au constructeur qui doit s'engager à ce que l'architecture proposée soit adaptée aux besoins fonctionnels — il pourra néanmoins indiquer ses préférences et ses exigences en matière de conception:

- des dispositifs embarqués dans les véhicules,
- du Poste Central,
- des dispositifs au sol (aux arrêts commerciaux, prise en compte aux carrefours, sorties de dépôts, saisie du carburant, etc.).

3. Dispositifs embarqués à bord des véhicules

Ce volet décrit de manière précise:

- les données saisies à chaque fois qu'un conducteur prend place à bord d'un véhicule: heure, numéro matricule sur support personnel par exemple, numéro de parc de l'autobus, numéro de service, etc.
- les données saisies par service: kilométrage par ligne et par autobus, oblitérations par ligne, consommation des autobus, taux de charge (éventuellement à partir de comptages par marches sensibles et pesées), etc.

Il y a également lieu de définir les informations saisies: au départ du dépôt lors de la mise en marche, à chaque changement ou modification de service en ligne et à la rentrée au dépôt.

Enfin, il convient de préciser le contenu et la forme des consignes à destination des conducteurs et les informations aux usagers dans les autobus, ainsi que le procédé et la nature de la saisie des données nécessaires à la prise en compte des autobus aux carrefours centralisés ou autonomes.

4. Echanges d'informations entre le Poste Central et les autobus

Tout particulièrement, il doit être demandé aux soumissionnaires de décrire:

- les messages numériques P.C. Autobus $\longleftrightarrow$ Autobus, avec description de l'algorithme de scrutation;
- les messages décrivant l'envoi des tables de correspondance relatives à la localisation des véhicules;
- d'autres messages, tels que:
 - la commande pour les feux;
 - la gestion de la phonie avec, en particulier, la description de cette gestion pendant la construction du système et, à terme, la gestion des véhicules non équipés de transmission de données;
 - la remise à l'heure éventuelle de la base de temps embarquée;
 - le suivi «à la loupe» d'un véhicule particulier;
 - les informations avance-retard et les informations de départ;
 - la commutation de la sonorisation par haut-parleurs pour informer les passagers;
 - etc.
- les messages numériques Autobus $\longleftrightarrow$ P.C. Autobus, tels que, par exemple:
 - véhicule en service ou non,
 - demande de phonie,
 - appel de détresse,
 - autobus dévié,
 - système embarqué correct,
 - position de l'autobus,
 - numéro matricule et numéro de service de l'agent,
 - état de certains organes mécaniques,et les réponses spécifiques aux interrogations du Poste Central.
- les variantes de procédure autres que celles du type interrogation-réponse en maître/esclave.

En outre, le Maître d'Œuvre doit spécifier l'organisation de la phonie une fois établies les communications:

- en fonctionnement normal: qui écoute qui;
- en appel d'urgence ou de détresse, en spécifiant si le message de détresse doit déclencher un enregistrement automatique de l'heure et du texte du message;
- en liaison avec les véhicules de service et les portatifs: «qui écoute qui» et «qui peut parler»;
- en mode dégradé: gestion éventuelle par appels sélectifs.

5. Le Poste Central du S.A.E.

Il s'agit de définir les missions du Poste Central dont une liste non exhaustive est donnée ci-dessous:

- gestion des communications;
- visualisation des informations, certaines en continu (vue d'ensemble d'une ligne...), d'autres à la demande (détail de position de certains autobus...);
- actions sur la progression des véhicules, telles que les modifications, prévisions ou définitions des caractéristiques du service agent, la modification du processus d'enregistrement des données par le dispositif embarqué ou, encore, les actions de macro et micro-régulation;
- gestion des fichiers;
- programmation des supports personnels lorsqu'ils existent;
- mémorisation traitement et édition de statistiques en temps réel et temps différé;
- algorithmes de régulation tels que: gestion des injections, des retournements en ligne, des départs aux terminus face aux perturbations, etc.;
- modification des courses de l'ensemble d'une ligne, telle que glissement d'une rotation, par exemple;
- etc.

6. Dispositifs au sol

- Lorsqu'elles sont demandées, il y aura lieu de préciser les exigences en matière «d'information clientèle» sur la progression des véhicules; cette information peut être donnée aux principaux arrêts commerciaux.

- De même, si nécessaire, les systèmes de relevé automatique de consommation de carburant seront à définir.

Dans le cas de balises de recalage, leur nombre et leur nature doit être une conséquence de la précision de localisation requise (feux, arrêts...) et des caractéristiques des lignes (tronc commun, service semi-direct, etc.).

- Enfin, une description précise des priorités aux feux et des exigences organiques (telles que «interface standard») doit être donnée.

7. Matériel et périphériques

En complément de la définition fonctionnelle, il est nécessaire de décrire le matériel souhaité à bord des véhicules et, ce, avec une rigueur technique (dispositif de saisie et mémorisation, équipement radio, dispositif d'information des usagers, les divers capteurs, etc.).

De même, les caractéristiques des périphériques du Poste Central seront détaillées (console graphique, table traçante, imprimante semi-rapide, hard-copy, unité de disques, etc.).

Si des dispositifs de secours sont nécessaires, leurs configuration, fonctions et caractéristiques seront détaillées.

Dans le même esprit, les matériels implantés aux stations, au dépôt et dans les armoires de carrefours seront décrits.

8. Logiciel

Il est important de concevoir un S.A.E. riche en bibliothèque de programmes. En effet, le Maître d'Œuvre doit pouvoir bénéficier de l'acquis des constructeurs dont l'investissement correspondant représente un nombre important d'années de travail.

Aussi, la définition et l'examen des programmes utilisateurs sont-ils d'une importance extrême: en fait, ils représentent la capacité du S.A.E. et méritent, à ce titre, une attention particulière.

La distinction doit être faite entre les différents logiciels:

- embarqués dans les véhicules;
 - au Poste Central (logiciel de base + logiciel d'exploitation en temps réel et en temps différé);
 - au dépôt (gestion des carburants);
 - aux principales stations.
- (pour chacun de ces logiciels, une documentation détaillée doit être demandée).

E. Contrat de maintenance

Un cadre type de contrat de maintenance doit être imposé.

F. Composition du marché

Ce chapitre expose la composition, lot par lot, des différentes tranches du marché (tranches ferme* et conditionnelle).

* Dans le cas où la radio-téléphonie constituerait une première tranche indépendante d'un S.A.E. complet, l C.E.T.U.R. dispose d'un Cahier des Charges destiné à spécifier les compatibilités des radio-téléphones avec leur future intégration dans un S.A.E.

Bibliographie

- Rapport de recherche I.R.T. n° 43 (Juin 1979).
- Rapport sur les aides électroniques à l'exploitation des lignes d'autobus — S.C.E.T. Transports Urbains (1981).
- Etude sur la consommation des autobus en milieu urbain en exploitation normale — CETE de l'EST (Mars 1982).
- Revue P.C.M. (Décembre 1981).
- La prise en compte des Transports Collectifs aux feux de signalisation des carrefours — CETUR (Février 1978).

© Ministère des Transports
Centre d'Etudes des Transports Urbains
Maquette et illustrations: ARTONE
Composition: ZOOM-COMPO
Impression: POLYCOLOR
Achevé d'imprimer le 30 octobre 1983
Dépôt légal 4^e trimestre 1983
ISBN n° 2-11-063330 0
Cet ouvrage est en vente au
CETUR-Docummentation
8, avenue Aristide-Briand
92220 BAGNEUX