

3081

# L'exploitation à arrêts alternés : amélioration de la vitesse et du niveau de desserte<sup>(\*)</sup>

**Dr.-Ing. Vukan R. VUCHIC**

Associate Professor of Civil and Urban Engineering, University of Pennsylvania, Philadelphia, Pa (U.S.A)

L'augmentation de la vitesse dans les transports publics urbains représente l'un des moyens les plus efficaces d'accroître leur attrait. Si leur faible vitesse est notamment un handicap pour les transports de surface, il ne suffit pas seulement d'augmenter celle-ci. En milieu urbain, les lignes ferrées rapides offrent une vitesse suffisante sur les courts et moyens parcours. Sur les parcours plus longs en revanche, en particulier en présence d'une infrastructure autoroutière concurrente, il est indispensable d'assurer une vitesse élevée. Or comme on a adopté un grand nombre d'interstations afin d'assurer un bon niveau de desserte, cette vitesse élevée est impossible à atteindre. Aussi sur les lignes ferrées rapides typiques, avec une distance moyenne entre les stations de 800 m environ, la vitesse n'est satisfaisante que si leur longueur est relativement faible; sur les distances supérieures, généralement comprises entre 8 et 10 km, la vitesse est souvent insuffisante. Et avec l'extension croissante des agglomérations, ce problème devient de plus en plus aigu.

Le présent article décrit les principales solutions possibles de ce problème, puis met l'accent sur l'exploitation à arrêts alternés et expose une méthode permettant d'analyser et d'évaluer son application. L'article traite des services sur rail, mais les aspects fondamentaux du problème s'appliquent à toute technologie. Il existe notamment des services de métro léger et d'autobus pour lesquels on pourrait envisager d'employer le procédé ici présenté.

## Les diverses solutions possibles

### L'exploitation à voies multiples

*Les services omnibus et express.* Le meilleur moyen d'assurer aux voyageurs un transport rapide sur de longues distances ainsi qu'une bonne desserte de la

ligne au moyen d'une faible distance entre les stations consiste à aménager les services de transport omnibus et express sur plus de deux voies. A New York, on trouve ainsi plusieurs lignes où les services express circulent sur deux voies et les services omnibus sur les deux autres voies. Une desserte sur trois voies peut aussi être envisagée mais n'est possible que si la troisième voie est empruntée par les trains express dans la direction du trafic de pointe. Outre New York, Chicago et Philadelphie offrent ces deux types de services. Cependant, le coût des voies supplémentaires est très élevé; c'est pourquoi leur construction ne peut se justifier économiquement que dans de rares cas.

*Lignes ferrées rapides et chemins de fer suburbains.* Dans les villes où les chemins de fer suburbains desservent les mêmes itinéraires que les chemins de fer rapides (avec deux voies pour chaque réseau), les premiers desserviront les zones plus éloignées tandis que les derniers, aux stations plus rapprochées, desserviront le centre. On rencontre ce type d'exploitation à New York, Chicago, Londres et Paris. La plupart des autres villes ne disposent pas de ces deux modes de desserte, de sorte que les transports rapides doivent satisfaire aux deux exigences, à savoir la vitesse et le niveau de desserte.

### L'exploitation sur deux voies

*Des interstations plus longues.* Du fait que de nombreux voyageurs prennent leur voiture pour se rendre à la station, l'importance de stations rapprochées dans les banlieues n'est plus aussi grande. C'est pourquoi les nouveaux réseaux ferrés rapides de Cleveland, Philadelphie (la Lindenwold Line) et San Francisco ont adopté des interstations très longues (allant jusqu'à 5-8 km). Ce type de service présente cependant l'inconvénient de ne pas desservir suffisamment la zone que traverse la ligne. Par ailleurs, les stations créent une concentration du trafic automobile excessive, d'où un inconvénient pour les environs immédiats de ces stations.

Il s'agit alors de savoir s'il est possible de satisfaire à la fois aux exigences de vitesse et de niveau de desserte dans les services sur deux voies où l'on emploie des méthodes d'exploitation telles que des horaires différents pour les différents trains.

*Les services express et omnibus.* Certains réseaux ferrés rapides (comme celui de Chicago et de Philadel-

(\*) Cet article est une version remaniée de l'article « Skip-Stop Operation as a Method of Transit Speed Increase » paru dans « Traffic Quarterly », Vol. XXVII, no 2, Avril 1973, et reproduit avec l'aimable autorisation de la Fondation ENO et de l'auteur.

Les recherches en vue de cet article ont été rendues possibles en partie grâce à une subvention de l'Urban Mass Transportation Administration (Ministère fédéral américain des transports) à l'Université de Pennsylvanie. MM. E. Tennyson, Deputy Secretary of Transportation de l'Etat de Pennsylvanie et F. Berdan, de la SEPTA, ont fourni les données relatives aux services de transports rapides de Philadelphie. L'auteur leur en exprime ici toute sa gratitude.

phie sur la Lindenwold Line) exploitent des services omnibus et express sur deux voies en mettant en service après un long intervalle un train express qu'ils font immédiatement suivre d'un train omnibus. Cela offre l'avantage d'un parcours rapide et ininterrompu pour les voyageurs sur de longs trajets, mais aboutit à des intervalles irréguliers; par ailleurs, ce service n'est possible que lorsqu'une ligne est exploitée bien en-deçà de sa capacité (c.-à-d. quand les intervalles dépassent le minimum possible).

**Les services par zones.** Certaines villes, comme New York et Philadelphie, exploitent des services par zones sur des chemins de fer suburbains. Avec cette méthode, le premier d'un groupe de trains est direct et traverse par exemple les stations 2 à 9, puis s'arrête aux stations 10, 11, 12 et 13, où se termine son service. Le train suivant est direct jusqu'à la sixième station puis il stoppe à chaque station jusqu'à la neuvième où il fait demi-tour, tandis que le dernier train dessert les stations 2 à 5. S'il augmente la vitesse moyenne et diminue le nombre de véhicules nécessaire, ce type de service réduit sensiblement la fréquence de desserte de chaque station et n'assure pas de liaisons entre les stations des différentes zones. Il n'est donc applicable qu'à certains chemins de fer suburbains dans les zones où un grand nombre de voyageurs se rendent en un point central.

**Les services à arrêts alternés.** L'exploitation à arrêts alternés a été appliquée avec un succès considérable à Chicago et Philadelphie. C'est la seule méthode permettant d'accroître la vitesse des lignes de transport urbain équipées de deux voies seulement et de maintenir une fréquence de desserte élevée. Le présent article vise à décrire et à évaluer ce type d'exploitation. A l'aide de cette analyse, il s'agira de déterminer les cas où ce type d'exploitation est supérieur à l'*exploitation classique* où tous les trains s'arrêtent à toutes les stations.

#### Description de l'exploitation à arrêts alternés

Dans l'exploitation à arrêts alternés, qui est comparée à la figure 1 avec l'exploitation classique à l'aide d'un diagramme temps-distance, les stations situées le long d'une ligne sont classées en trois catégories : A, B et AB. Les trains s'arrêtent alternativement dans les

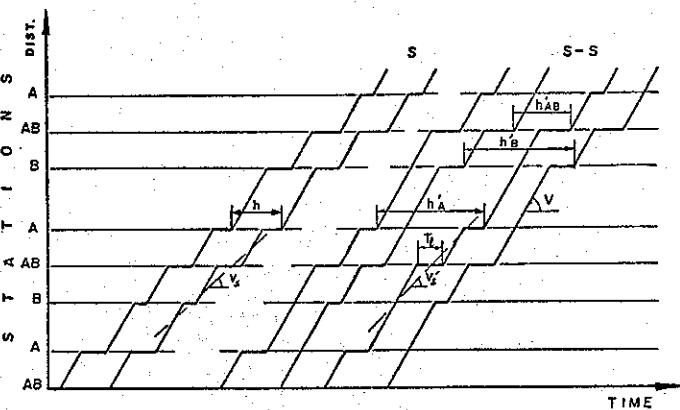


Fig. 1 : Exploitation classique (S) et exploitation à arrêts alternés (S-S).

Fig. 1 : Standard (S) and Skip-Stop (S-S) Operation.

Abb. 1 : Herkömmlicher Betrieb (S) und Betrieb mit wechselweise bedienten Bahnhöfen (S-S).

Stations = stations = Bahnhöfe.

Dist. = distance = Entfernung.

Time = temps = Zeit.

stations A et AB d'une part et B et AB d'autre part. Ainsi ne s'arrête dans les stations A et B qu'un train sur deux tandis que tous les trains s'arrêtent dans les stations AB.

Les stations A et B sont choisies en fonction des critères suivants :

- 1) elles devraient avoir le plus faible volume de voyageurs;
- 2) le volume total de voyageurs des stations A et B devrait être le même afin que l'occupation des trains A et B soit égale;
- 3) il faudrait un même nombre de stations A et B afin de maintenir une fréquence régulière aux stations AB; et
- 4) il faudrait limiter autant que possible le nombre de paires de stations A et B consécutives de façon à réduire le nombre de liaisons entre les stations pour lesquelles un retour en arrière est indispensable.

Les principales caractéristiques de l'exploitation à arrêts alternés sont :

- Elle ne peut être introduite que sur les lignes — ou durant les périodes de la journée — où la fréquence est assez élevée (inférieure à 5 ou 6 mn), afin de limiter l'attente aux stations A et B.
- Son introduction ne requiert pratiquement aucun investissement sur les lignes existantes ou nouvelles, étant donné que le seul changement consiste à informer le public sur le type de station (A, B ou AB) et de train (A ou B).
- La capacité de la ligne reste inchangée. Les stations caractérisées par un fort volume de trafic atteignent la limite de leur capacité. Comme elles deviennent généralement des stations AB, leur exploitation selon la desserte à arrêts alternés reste inchangée.
- Pour un nombre de voyageurs constant, la capacité totale de transport (mesurée en km-voyageurs) de la ligne reste la même. Cependant, l'augmentation de la vitesse de marche et, par conséquent, commerciale des trains entraîne une productivité (mesurée en km-voyageurs par heure-véhicule) plus intense. Cela permet de diminuer le nombre de trains sans réduire la capacité et tout en réalisant des économies considérables sur les coûts.

L'exploitation à arrêts alternés et l'exploitation classique seront maintenant comparées en détail et leurs différences analysées. Un procédé permettant une évaluation exacte et néanmoins simple des différentes possibilités d'exploitation : l'exploitation classique et avec arrêts alternés utilisant un nombre différent de paires de stations A-B, sera également exposé.

#### Comparaison entre l'exploitation à arrêts alternés et l'exploitation classique

Les caractéristiques des arrêts alternés, comparées à celles de l'exploitation classique ainsi que les avantages et les inconvénients relatifs qui en résultent se trouvent ici énumérés et évalués. La figure 2 en offre un tableau schématique : les cadres rectangulaires montrent les différences d'exploitation; les cadres arrondis indiquent les avantages (a) et les inconvénients (d) de l'exploitation à arrêts alternés pour les intéressés, à savoir les voyageurs (P) et les exploitants (O).

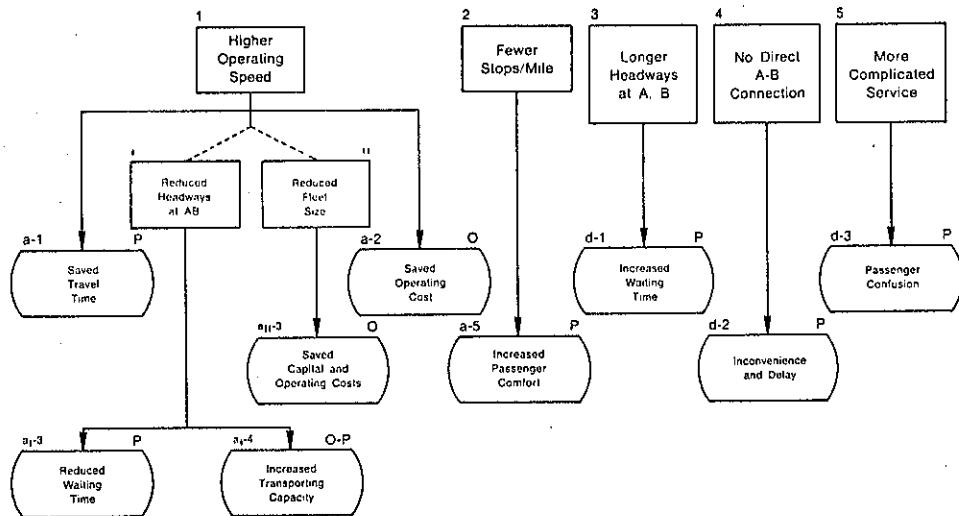


Fig. 2 : Comparaison entre l'exploitation à arrêts alternés et l'exploitation classique.

Fig. 2 : Skip-Stop Compared with Standard Operation.

Abb. 2 : Vergleich zwischen dem Betrieb mit wechselweise bedienten Bahnhöfen und dem herkömmlichen Betrieb.

- 1 : vitesse commerciale accrue.
- 2 : moins d'arrêts au km.
- 3 : moindre fréquence des trains aux stations A et B.
- 4 : pas de liaison directe entre les stations A et B.
- 5 : desserte plus compliquée.
- I : fréquence accrue aux stations A et B.
- II : parc de véhicules réduit.
- a-1 P : temps de parcours réduit.
- a-2 O : coûts d'exploitation réduits.
- d-1 P : temps d'attente accru.
- d-3 P : confusion pour les voyageurs.
- aII-3 O : moindres coûts d'investissement et d'exploitation.
- a-5 P : meilleur confort pour les voyageurs.
- d-2 P : incommodité et perte de temps.
- aI-3 P : temps d'attente réduit.
- aI-4 O-P : capacité de transport accrue.

- 1 = höhere Fahrplangeschwindigkeit.
- 2 = weniger Bahnhöfe je Kilometer.
- 3 = weniger dichte Zugfolge an A- und B-Bahnhöfen.
- 4 = keine unmittelbare Verbindung zwischen A- und B-Bahnhöfen.
- 5 = kompliziertere Verkehrsbedienung.
- I = dichtere Zugfolge an AB-Bahnhöfen.
- II = verringelter Fahrzeugbestand.
- a-1 P = kürzere Reisezeit.
- a-2 O = niedrigere Betriebskosten.
- d-1 P = längere Wartezeit.
- d-3 P = Verwirrung der Fahrgäste.
- aII-3 O = niedrigere Kapital- und Betriebskosten.
- a-5 P = grössere Bequemlichkeit für die Fahrgäste.
- d-2 P = Unbequemlichkeit und Zeitverlust.
- aI-3 P = kürzere Wartezeit.
- aI-4 O-P = höhere Beförderungsleistung.

Les services classiques et les services à arrêts alternés présentent sur le plan de l'exploitation les différences suivantes :

1. une augmentation de la vitesse commerciale;
2. une diminution du nombre d'arrêts pour chaque train;
3. une diminution de la fréquence aux stations A et B;
4. une absence de liaison entre les stations A et B et
5. une légère complication des services.

La première caractéristique (1) a deux avantages directs : premièrement (a-1 dans la figure 2), un temps de parcours réduit pour les voyageurs (P) et deuxièmement (a-2), une diminution des coûts d'exploitation (O).

L'exploitant peut utiliser cette vitesse commerciale accrue de deux façons. Premièrement (I), il peut garder le même nombre de véhicules sur la ligne qui circuleront à une fréquence accrue. Les avantages en sont : (aI-3) une diminution du temps d'attente (P) et (aI-4) une augmentation de la capacité de transport (O-P).

Deuxièmement (II), il peut garder le même intervalle et réduire le nombre de véhicules en service. L'avantage (aII-3) en est une réduction des coûts d'investissement et d'exploitation (O).

Une troisième possibilité consisterait à conserver le même parc et la même fréquence mais à allonger les trains. On pourrait ainsi épargner le personnel des

trains qui seraient retirés du service et augmenter la capacité de la ligne. Cependant, si la capacité limite est déjà atteinte et doit être encore augmentée, la longueur maximale des trains, déterminée par la longueur des quais aura, elle aussi, déjà été utilisée. Cette possibilité est peu courante et ne sera pas approfondie ici.

La deuxième possibilité (II) est la plus répandue. Dans les cas où la capacité de la ligne est déjà atteinte, c'est la seule possible. Les caractéristiques 2-5 ont comme résultat, respectivement (par ordre) : (a-5) un confort accru pour les voyageurs (P); (d-1) des temps d'attente plus longs aux stations A et B (P); (d-2) un inconfort et une perte de temps due aux correspondances pour certains voyageurs (P) et (d-3) une confusion éventuelle.

Nous analyserons maintenant les avantages et inconvénients énumérés ci-dessus. Pour les avantages et inconvénients quantitatifs, on part d'un modèle de ligne dont la longueur d'axe est  $L$  et le nombre de gares  $n+1$  (soit  $n$  intervalles). Toutes ses autres caractéristiques sont définies dans la liste de symboles figurant en annexe à cet article. Tous les facteurs qui changent du fait de l'introduction de l'exploitation à arrêts alternés (tels que la vitesse, la fréquence, le nombre de véhicules, etc.) seront désignés par un signe ' ajouté au symbole initial. Tous les temps sont exprimés en minutes, les distances le sont en kilomètres, et les vitesses en kilomètres par heure.

Comme les avantages d'un tel type d'exploitation dépendent largement de la fréquence (et ainsi indirectement des volumes de voyageurs), ses avantages et inconvénients relatifs varient suivant les différentes périodes de la journée. L'analyse repose par conséquent sur des valeurs horaires. On supposera aussi que le nombre de voyageurs montant et descendant des trains pendant une heure donnée à chaque station est indépendant du type de service employé, et que les trains circulent à intervalles réguliers. Dans le cas contraire, l'analyse devrait porter sur une période de temps plus courte.

Dans l'exploitation classique, le temps de parcours d'un terminus à l'autre est

$$T_0 = \frac{60L}{V} + nT_i, \quad (1)$$

$V$  est la vitesse de marche maximale,  $T_i$  est le temps perdu à l'arrêt dans une station, exprimé par

$$T_i = \frac{V}{432} \times \left( \frac{1}{A} + \frac{1}{B} \right) + t_s, \quad (2)$$

où  $A$  et  $B$  représentent les taux moyens d'accélération et de décélération en  $m/s^2$  respectivement, et  $t_s$  le temps d'arrêt dans une station. On obtient  $T_i$  directement en mesurant le temps de parcours d'un train entre deux points fixes avec ou sans arrêt entre eux.  $T_i$  est la différence entre ces deux temps. On suppose ici que l'intervalle de temps est constant, bien qu'il soit plus court quand le train n'atteint pas sa pleine vitesse  $V$  sur la ligne entre deux stations. La vitesse commerciale  $V_0$  et la durée de rotation  $T$  sont ainsi exprimées

$$V_0 = \frac{60L}{T_0} \text{ et } T = 2(T_0 + t_i), \quad (3, 4)$$

où  $t_i$  représente la moyenne de la différence entre les temps d'arrivée et de départ (y compris le temps de manœuvre) aux terminus. L'intervalle entre les véhicules est :

$$h = \frac{T}{N} = \frac{2}{N} \times \left( \frac{60L}{V} + nT_i + t_i \right), \quad (5)$$

où  $N$  représente le nombre de trains (véhicules) sur la ligne. La capacité de transport d'une ligne peut être exprimée par la capacité des trains  $C_t$  et la fréquence des services  $f$  (véhicules par heure);

$$C = C_t \times f = \frac{60C_t}{h}, \quad (6)$$

#### Augmentation de la vitesse

Dans l'exploitation à arrêts alternés, le temps de parcours du train devient :

$$T'_0 = T_0 - kT_i, \quad (7)$$

$k$  étant le nombre de paires A-B. La nouvelle vitesse selon horaire  $V'$  est exprimée par (3) où  $T'_0$  remplace  $T_0$ . Le nouveau temps de rotation est :

$$T' = T - 2kT_i, \quad (8)$$

les intervalles entre les trains aux stations A et B, dans la première possibilité I sont ainsi réduits à :

$$h'_{AB} = \frac{T'}{N} = h - \frac{2kT_i}{N}; \quad (9)$$

Dans la deuxième possibilité II, les intervalles entre les trains dans les stations AB ne changent pas. Dans les stations A et B, les intervalles deviennent dans les deux possibilités :

$$h'_A = h'_B = 2h'_{AB}. \quad (10)$$

On peut donc analyser maintenant tous les changements intervenus dans les temps de parcours des voyageurs.

*Temps de parcours des voyageurs ( $a = 1, a_1 = 3, d = 1$ )*. Deux aspects du temps de parcours du voyageur sont importants. Comment se modifie le temps total de parcours de tous les voyageurs et comment se répartit le gain ou la perte de temps entre les voyageurs ?

Le changement total dans le temps de parcours d'un voyageur sur la ligne se compose des changements du temps de parcours et des changements dans le temps d'attente aux stations :

$$\Delta PT = \Delta PT_t + \Delta PT_w. \quad (11)$$

Si l'on considère que les gains de temps sont positifs (et une augmentation du temps comme négative), la modification du temps de parcours est la suivante :

$$\Delta PT_t = \frac{T_i}{2} \times \sum_{A, B} R_{A, B}, \quad (12)$$

$R_{A, B}$  étant la somme des voyageurs de tous les trains qui traversent les stations A et B. Ce nombre est divisé par deux parce que la moitié des voyageurs traversant une station A par exemple se trouvent dans les trains B (si l'on suppose une charge égale) et gagnent un temps  $T_i$ . L'autre moitié, à bord des trains A, s'arrêtera.

Le temps d'attente dans les stations devient donc :

$$\Delta PT_w = \frac{h - h'_{AB}}{2} \times \sum_{AB} P_{AB} - \frac{h'_{A, B} - h}{2} \times \sum_{A, B} P_{A, B}, \quad (13-I)$$

$P_{AB}$  étant le nombre de voyageurs montant et descendant dans les stations AB,  $P_{A, B}$  le nombre de voyageurs qui montent dans les stations A ou B et dans les stations AB, mais descendant dans les stations A ou B. Cette équation s'applique aux deux possibilités bien que dans la deuxième (II),  $h'_{AB} = \frac{1}{2} h'_{A, B} = h$ , de sorte que l'équation (13-I) devient plus simplement :

$$\Delta PT_w = \frac{h}{2} \times \sum_{A, B} P_{A, B}, \quad (13-II)$$

L'introduction d'un service à arrêts alternés entraînerait dans la majorité des cas un gain de temps considérable au total  $\Delta PT$ . Cependant, ce n'est pas une raison suffisante pour introduire ce type de service, étant donné que la distribution des gains de temps pourrait se faire de façon très inégale. Certains voyageurs confrontés à une augmentation considérable de leur temps de parcours pourraient quitter le réseau. Il est par conséquent nécessaire d'analyser les gains et pertes de temps selon les différents groupes de voyageurs.

Les voyageurs qui montent dans une station AB et descendant dans une autre station AB ne peuvent manifestement qu'y gagner : la fréquence pour eux est soit égale soit supérieure et la vitesse commerciale sur la ligne est supérieure. En revanche, pour les voyageurs montant dans les stations A et B, le temps d'attente se modifie (augmente) pour devenir :

$$\Delta T_{w A, B} = - \frac{h'_{A, B} - h}{2}, \quad (14)$$

tandis que le temps de parcours qu'ils gagnent dépend de la longueur de leur trajet ou plus précisément du nombre ( $j$ ) de paires de stations A-B sur la section de ligne qu'ils empruntent :

$$\Delta T_t = jT_t. \quad (15)$$

Les voyageurs réalisent un gain de temps total sur leur temps de parcours si (durant leur trajet)  $\Delta T_t > |\Delta T_w|$ . Si l'on remplace dans la possibilité I (15) et (14), puis (10) et (9), les voyageurs gagnent du temps si

$$j > j_c = \frac{h}{2T_t} - \frac{2k}{N} \quad (16-I)$$

Cette expression peut être très facilement appliquée à toute ligne donnée. Si par exemple une ligne compte six paires de stations A-B,  $T_t$  est de 0,75 mn et le nombre de trains en service est de 20, les voyageurs aux stations A et B gagneraient du temps si, durant leur trajet, le train sautait  $j$  paires A-B telles que :

$$j > \frac{h}{1,5} - 0,6.$$

Ainsi, il est possible d'étudier la distribution de temps pour n'importe quelle fréquence donnée ou n'importe quelle période de la journée. Pour tous les parcours satisfaisant à l'inégalité (16-I), il résulte un gain de temps. Il faut noter que  $h$  représente la fréquence initiale, c'est-à-dire dans l'exploitation classique. Dans la deuxième possibilité (II),  $j_c$  est exprimé par :

$$j_c = \frac{h}{2T_t}. \quad (16-II)$$

**Coûts d'exploitation (a — 2).** Les coûts d'exploitation des trains seront moins élevés dans la plupart des cas, étant donné qu'un moindre nombre d'arrêts par heure d'exploitation réduit tant l'énergie nécessaire que l'usure des véhicules. Bien qu'on ne dispose pas de données exactes à ce sujet, on peut obtenir une valeur approximative en mesurant le nombre de trains qui peuvent être retirés du service une fois l'exploitation à arrêts alternés introduite.

Les économies réalisées sur les coûts d'exploitation sont au moins égales aux coûts d'exploitation des trains retirés du service. Le coût des informations supplémentaires à obtenir pour le service à arrêts alternés est insignifiant.

**Capacité de transport (a<sub>i</sub> — 4).** Dans la possibilité I, le nombre de trains (véhicules) en service sur la ligne est maintenu constant, de sorte que la capacité de la ligne augmente en raison de la fréquence plus grande de :

$$\Delta C = C' - C = 60C_t \times \left( \frac{1}{h'_{AB}} - \frac{1}{h} \right). \quad (17)$$

**Diminution du parc (a<sub>ii</sub> — 3).** Dans la possibilité II, on conserve la fréquence inchangée pour l'exploitation à arrêts alternés de sorte que, en raison du moindre temps de parcours, le nombre de trains sur la ligne peut être diminué. Les économies dues à cette réduction sont ainsi exprimées :

$$\Delta K = K \times \Delta N = K \times \left( \frac{T}{h} - \frac{T'}{h} \right) = 2K \frac{kT_t}{h}, \quad (18)$$

$K$  étant le coût total (d'investissement et d'exploitation) d'un train par unité de temps (jour ou année). On verra plus loin que cette économie peut être considérable.

#### Diminution du nombre d'arrêts au kilomètre

**Confort du parcours (a — 5).** Il est peu souhaitable pour les voyageurs d'arrêter un véhicule de transport. En effet, en plus du retard, cela représente aussi une interruption de leur parcours et une gêne du fait de la décélération-accelération, de l'ouverture et de la fermeture des portes, des voyageurs qui traversent les voitures, etc. Il n'est pas possible de chiffrer l'importance de cette interruption, mais l'on a observé que certains voyageurs ne montent pas dans le premier train s'il s'agit d'un train omnibus, mais préfèrent attendre un express bien que celui-ci les amène à destination plus tard que le premier. Quand le train ne s'arrête pas, le voyageur a l'impression que l'économie de temps est en fait bien plus grande et importante que les 30 à 60 secondes de réduction du temps de parcours. Les avantages ressentis lors de la traversée d'une station représentent donc un avantage important de l'exploitation à arrêts alternés.

#### Liaisons entre stations A et B

**Inconfort et perte de temps (d — 2).** Si l'on introduit l'exploitation à arrêts alternés, il n'existe pas de liaisons directes entre les stations A et B, ce qui n'est pas sans inconvénient pour les voyageurs se déplaçant entre ces stations. Les voyageurs qui se rendent d'une station A vers une station B très éloignée de la première doivent passer d'un train A dans un train B à une station AB intermédiaire. Cela implique un certain inconfort et une perte de temps équivalant à  $h'_{AB}$ .

Les voyageurs désirant se rendre d'une station A à une station B voisine ne peuvent le faire, à moins d'aller jusqu'à la prochaine station AB en dépassant leur station et, de là, revenir vers leur station de destination. Cela est extrêmement peu pratique; par ailleurs, si la gare AB est dotée de quais latéraux, il serait peut-être même nécessaire de prendre un autre ticket. Dans la majorité des cas cependant, soit de tels parcours n'existent pas, soit leur nombre est insignifiant, étant donné le petit nombre de voyageurs qui utilisent le réseau pour de courtes distances. Néanmoins, il convient de tenir compte de ce facteur lors du choix des stations A et B : il convient d'éviter qu'un trop grand nombre de stations A et B se succèdent.

#### Complication du service

**Confusion chez les voyageurs (d — 3).** L'exploitation à arrêts alternés offre des services un peu plus compliqués que l'exploitation classique. Les voyageurs doivent faire davantage attention au train qu'ils prennent. C'est là un inconvénient mais, dans la plupart des cas, il n'est pas grand s'il existe suffisamment d'informations, notamment lorsque ce type de service est introduit pour la première fois. Si l'on n'a recours à ce type d'exploitation que durant certaines périodes de la journée, il conviendrait de fournir aux voyageurs les informations s'y rapportant avec plus de clarté encore pendant ces périodes.

## Méthodes relatives à l'application de l'analyse

Il est possible d'utiliser l'analyse qui précède pour étudier systématiquement les avantages et les inconvénients de l'exploitation à arrêts alternés dans une situation donnée, ainsi que pour déterminer le nombre optimal de paires de stations A-B.

### Etapes de l'analyse

L'analyse comporte les étapes suivantes : la collecte des données, les décisions de planification, le dépouillement des données, les calculs de performance et l'évaluation des possibilités.

**La collecte des données.** Il faut, pour cela, obtenir les données d'exploitation de la ligne analysée :  $L$ ,  $T_0$ ,  $t_1$  (ou  $T$ ),  $h$  (ou  $N$ ),  $T_1$ ,  $C_t$  et  $K$  pour la période de temps envisagée pour l'exploitation à arrêts alternés. Il faut alors élaborer une matrice des parcours pour la ligne — le nombre de parcours de chaque station à chaque station — pour la période considérée. En cas d'absence de données pour constituer une telle matrice (ce qui est souvent le cas), il s'agit de recueillir toutes les données disponibles sur le nombre de parcours effectués sur la ligne.

**Décisions de planification.** Il convient de choisir les combinaisons possibles d'arrêts alternés à analyser (comportant par exemple 2, 4 ou 6 paires de stations A-B), de déterminer quelles seront les stations A ou B dans chaque possibilité et de décider entre la possibilité I et la possibilité II.

**Dépouillement des données.** Un « Tableau des performances » à l'instar du Tableau I sera nécessaire. Il faudra établir (si il n'existe pas) le Tableau d'occupation à partir des données recueillies. C'est la seule étape fastidieuse de l'analyse; les étapes essentielles en sont décrites dans l'exemple qui suit. Il faudra calculer les totaux dans le Tableau d'occupation, comme l'explique le Tableau II.

TABLEAU I

Résultats suivants les différents plans d'exploitation sur la ligne Market-Frankford durant la pointe de l'après-midi (\*)

	Exploitation classique		Exploitation à arrêts alternés		
	S-0	S-3 (3 Paires)	S-6 (6 Paires)	S-7 (7 Paires)	
$V_0$ (km/h)	33,2	34,8	36,7	37,4	
$T$ (mn)	86	82	78	(77) 78	
I : $N = 43$					
$h_{AB}$ (mn)	2	1,91	1,81	1,81	
$\Delta PT$ (h/jour)	—	354	765	870	
$\Delta PT_{WA,B}$ (h/jour)	—	21	41	39	
$\Delta PT_{WA,B}$ (h/jour)	—	-16	-46	-54	
$\Delta PT$ (h/jour)	—	359	760	855	
$j_c$	—	1,5	1,4	1,3	
$\Delta C$ (personnes)	—	750	2 250	2 250	
II : $h_{AB} = 2$ mn					
$N$	43	41	39	39	
$\Delta PT$ (h/jour)	—	354	765	870	
$\Delta PT_{WA,B}$ (h/jour)	—	-18	-57	-67	
$\Delta PT$ (h/jour)	—	336	708	803	
$\Sigma P_{A,B}$	—	1 077	3 392	4 036	
$j_c$	—	1,7	1,7	1,7	
$\Delta K$ coûts d'exploitation (\$/année)	—	240 000	480 000	480 000	
$\Delta K$ coûts d'investissement (\$/année)	—	100 000	200 000	200 000	
$\Delta K$ coûts totaux (\$/année)	—	340 000	680 000	680 000	

(\*)  $L = 21,01$  km

$t_1 = 5$  mn.

$T_1 = 0,6$  mn.

$T_0 = 38$  mn.

**Calculs des résultats.** Pour chacune des possibilités étudiées, il convient de calculer :  $T_0$  avec (1),  $V_0$  ( $V_0'$ ) avec (3);  $T$  et  $T'$  avec (4 et 8);  $h_{AB}$  avec (9) dans la possibilité I et  $N$  avec (5) dans la possibilité II. On obtiendra également  $j_c$  avec (16),  $\Delta C$  avec (17) et  $\Delta K$  avec (18). Si l'on utilise la possibilité la plus courante II, on calculera le temps pour le voyageur en trois étapes; quant à la possibilité I, la méthode, qui est très similaire, est la suivante :

1. On part de l'équation (12). On obtient le total des voyageurs  $\sum R_{A,B}$  pour cette équation à partir du Tableau d'occupation (Tableau II); on calcule et totalise ainsi, à l'aide de la formule employée pour  $R$ , les nombres de voyageurs pour toutes les stations A et B.

2. Il s'agit de calculer l'augmentation du temps d'attente aux stations A et B à l'aide de (13-II). La somme des voyageurs concernés est simplement égale à celle de tous les voyageurs montant dans les trains aux stations A et B (dans les deux directions), chiffre que l'on obtient dans la dernière colonne du Tableau d'occupation.

3. On obtient le temps total économisé en soustrayant l'augmentation du temps d'attente de la diminution du temps de parcours.

4. On estime quel est le nombre de voyageurs se déplaçant entre des stations A et B et dans quelle mesure ils sont gênés (en ajoutant  $h_{AB}$  à leur temps de parcours, cette augmentation étant facile à calculer ou en concluant que le parcours est impossible). Si le résultat est positif, on corrige les estimations sur le temps gagné et note le nombre de voyageurs concerné.

**Evaluation des possibilités.** Le tableau des capacités résume toutes les différences essentielles entre les différentes possibilités. Etant donné la difficulté extrême de rapporter à un dénominateur commun les divers éléments du tableau (il serait notamment très difficile de déterminer la valeur temps) et la fréquente nécessité d'inclure aussi nombre d'autres facteurs locaux, il est suggéré que le planificateur des services évalue les possibilités en observant simultanément les facteurs suivants :

$V_0'$  : outre le gain de temps, la vitesse supérieure rend le service plus attrayant pour les nouveaux usagers;

$\Delta PT$  : le gain de temps total pour les voyageurs peut être relativement faible pour le voyageur individuel, mais dans l'ensemble il est souvent d'une importance considérable;

$j_c$  : si sa valeur est élevée, le nombre de voyageurs affectés négativement par l'exploitation à arrêts alternés peut être important; en pratique cependant, il est souvent insignifiant;

$\Delta N$  et  $\Delta K$  : les économies réalisées dans le nombre de trains ou de voitures nécessaire représentent une réduction très directe des coûts pour l'exploitant. Si l'analyse est faite avant un achat de matériel, les économies porteront sur les coûts non seulement d'exploitation, mais encore d'investissement.

Il conviendrait d'analyser tout particulièrement le nombre de voyageurs affectés négativement et de diverses manières. Il faudrait accorder à ce facteur une