

Montée et descente des voyageurs aux arrêts d'autobus

LES mouvements de montée et de descente des voyageurs utilisant les autobus exercent une forte influence sur les vitesses commerciales, la régularité de succession des voitures et la capacité de transport.

L'étude de ce problème a reçu une attention particulière à la Régie autonome des transports parisiens lors de la conception et des améliorations successives apportées au matériel « Standard » et « Petit gabarit » utilisé sur le réseau actuel. Plus récemment, l'introduction de couloirs réservés et d'autres mesures prioritaires ont mis en évidence l'importance accrue des temps d'échange dans les variations des temps de parcours. Ce phénomène est amplifié lorsque plusieurs lignes empruntent le même couloir.

Au cours d'une recherche effectuée dans le cadre d'une étude de simulation d'une ligne d'autobus, il est apparu que les résultats obtenus pouvaient constituer une base pour la connaissance du comportement des passagers et du conducteur pour un type de matériel donné. La méthode utilisée fournit alors un outil d'investigation possible pour juger de l'aménagement de nouveaux véhicules.

L'étude repose sur une enquête effectuée pendant les jours ouvrables sur la ligne 52 « Opéra — Pont de Saint-Cloud », équipée d'autobus de gabarit réduit (ou « PGR ») de 9 m de long sur 2,25 m de large : 45 places dont 28 assises ; 1 100 observations ont été enregistrées, dont la moitié est relative au matin (6 h 30 à 12 h 30) et l'autre moitié à l'après-midi (de 13 h 30 à 19 h).

LE TEMPS DE MONTÉE

Il s'agit du temps qui s'écoule entre les événements : « ouverture de la porte AV et arrêt du bus » et « dernier voyageur monté sur la plate-forme AV ».

La configuration des accès étant une donnée constante, le temps de montée est principalement déterminé par les interactions des passagers entre eux. Celles-ci s'estiment en évaluant l'influence du nombre de montants et de la charge de l'autobus. De nombreuses autres causes existent (position de l'autobus par rapport à l'arrêt, au trottoir, conditions atmosphériques etc.) mais leur effet individuel apparaît faible (dans les conditions de l'enquête). A ces dernières se superposent des variations aléatoires du comportement des individus.

La forme la plus explicative obtenue pour le modèle est simple :
 $TMON = Thm + Tum. NMON + E_i$, où Thm et Tum sont caractéristiques du comportement des passagers :
Thm : temps d'hésitation à la montée (1^{er} passager),

Tum : temps de montée par passager (ou : unitaire de montée), dépendant de la charge du véhicule.

et E_i , le résidu aléatoire de moyenne nulle, caractéristique des autres causes, nombreuses mais d'effet individuel négligeable : Les valeurs numériques de ces paramètres ont été obtenus à partir de l'enquête. Elles sont données par le tableau 1.

Le résultat essentiel de cette analyse est de mettre en évidence l'influence de la charge sur le comportement des passagers. Si, en fonction de celle-ci, on étudie les variations de la vitesse de montée des passagers (cf. fig. 1), on constate une brusque discontinuité, à partir d'un certain

seuil de charge (défini à 1 ou 2 voyageurs près). Celui-ci est différent le matin et l'après-midi.

Ces résultats, confortés par les observations empiriques, permettent de définir deux régimes de comportement (cf. tableau 2) :

Le régime fluide est caractérisé par une vitesse de montée constante (en moyenne et variance) et pratiquement indépendante de la charge. Il cesse pour une certaine limite de celle-ci, dite limite de saturation, différente selon le taux d'habitues parmi les voyageurs.

Le régime saturé, est caractérisé

Tableau 1 : Valeurs des paramètres du modèle de temps de montée. Moyenne et écart-type (entre parenthèses).

	Régime fluide	Régime saturé
Temps d'hésitation à la montée ... (Thm) seconde	2,2 (0,1)	2,2 (0,2)
Temps unitaire de montée (Tum) seconde/voyageur	1,7* (0,1)	— 3 + 0,13 CHAR (0,8) (0,04)
E seconde	0 (1,5)	0 (4,5)

(*) $Tum = 1,43 + 0,013 \text{ CHAR}$ est un peu plus descriptif
(0,05) (0,002).

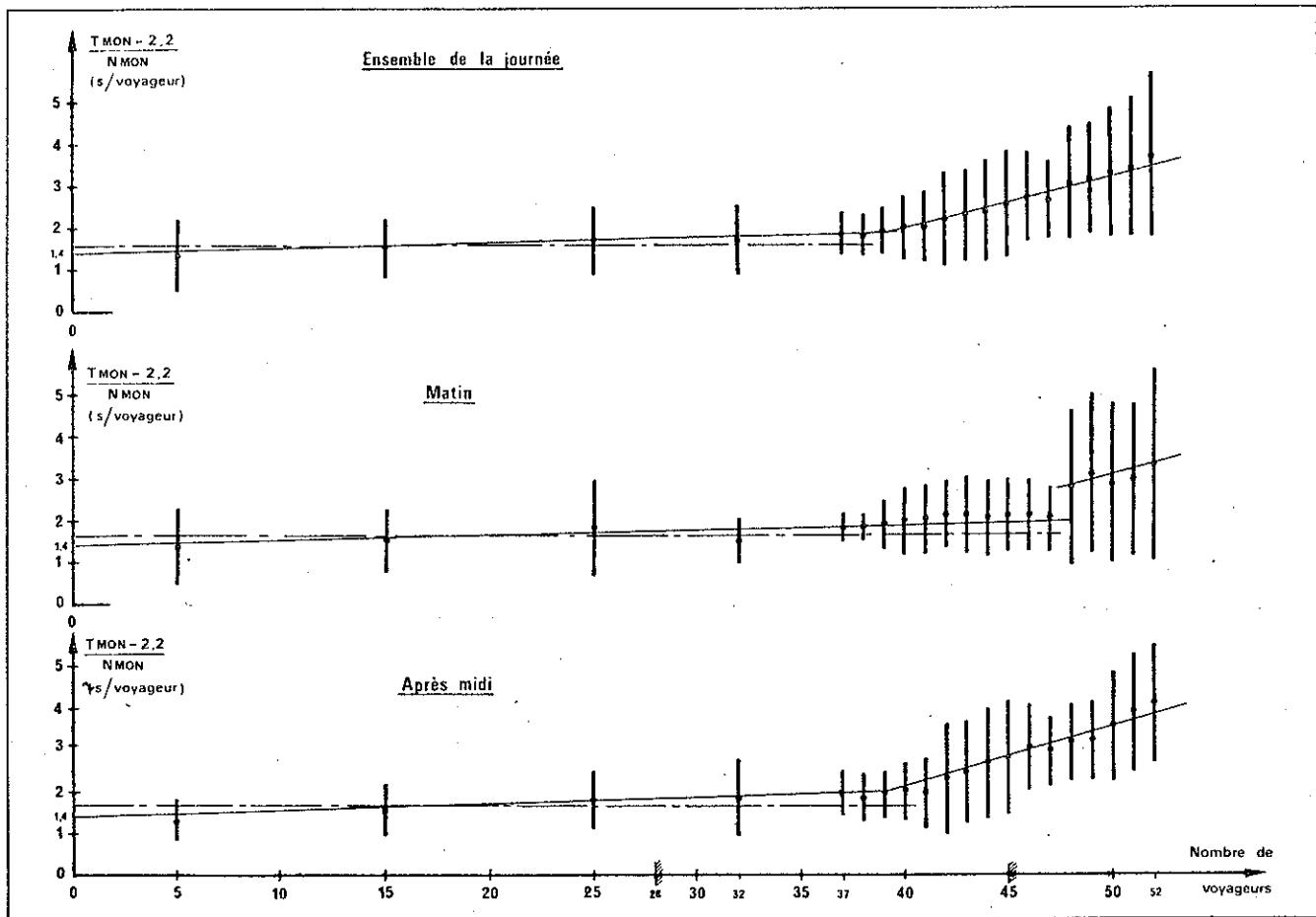


Figure 1 : Temps unitaire de montée en fonction de la charge. Autobus PGR 45 places, dont 28 assises.

N.B. La constance de 2,2 s représente le « temps d'hésitation » du premier voyageur. Celle-ci a été déterminée par régression ; 95 % des résultats sont compris entre 2 et 2,4 s. .

par une vitesse de montée de plus en plus faible (et de détermination moins précise) pour une charge croissante du véhicule.

Ces deux régimes sont identiques le matin et l'après-midi. On peut expliquer la discontinuité constatée le matin par l'établissement d'un « régime fluide forcé » provoqué par la présence d'habituel et de gens pressés. Cependant, si l'on interprète les résultats de l'après-midi comme reflétant un comportement moyen « normal », ils permettent d'identifier la limite de gêne perçue comme étant de 40 voyageurs. D'autre part, des

charges (constatées) de 48 à 53 places sont proches d'une limite physique de « tassemement ». La charge réglementaire de 45 places (dont 17 debout) réalise un compromis entre cette limite et le seuil de gêne perçu par les usagers.

LE TEMPS DE DESCENTE

D'une manière analogue, il s'agit du temps écoulé entre les événements : « ouverture de la porte AR et l'arrêt du bus » et « dernier passager

n'étant plus en contact avec l'autobus ». Les seules causes explicitement retenues traduisent le comportement des passagers et leurs interactions. Par rapport à la montée, on constate une attitude plus typée des individus. Les différences sont très marquées entre habituels et non-habituels et la part aléatoire des causes inexpliquées se révèle plus grande.

La forme proposée du modèle est également simple :

$$TDES = Thd + Tud. NDES + E_2$$

où Thd : temps d'hésitation à la descente (1^{er} passager)

Tud. : temps unitaire de descente

E_2 : résidu aléatoire de moyenne nulle.

La définition de ces paramètres est un peu plus complexe. Elle est donnée par le tableau 3.

Du point de vue de l'interprétation des paramètres, on a gardé la notion de régime (fluide ou saturé) mais il n'apparaît plus de régime « fluide forcé » le matin, au-delà d'une charge de 40 voyageurs. Les résultats essentiels concernent d'une part, le temps d'hésitation à la descente et d'autre part la vitesse de descente en régime saturé.

Tableau 2 : Régime de comportement en fonction de la charge et du taux d'habituel.

CHARGE	CHA ≤ 40	40 < CHA < 48	CHA ≥ 48	% habituel
matin	régime fluide	saturé (descente) fluide forcé (montée)	régime saturé	90 %
après-midi et soir	régime fluide	régime saturé	régime saturé	55 %
ensemble	régime fluide	régime saturé	régime saturé	60 à 70 %

	Régime fluide			Régime saturé (charge ≥ 40)		
	Matin	Après-midi	Ensemble	Matin	Après-midi	Ensemble
Thd (temps d'hésitation à la descente) (s)	2,3 (0,2)	2,9 (0,3)	2,6 (0,2)	2,3 (0,25)	2,9 (0,35)	2,6 (0,30)
Tud (temps unitaire de descente) (s/voyg.)	1,2 (0,1)			$\frac{1,2}{NDES} + 0,02 \text{ CHAR}$ (0,2) (0,002)	$\frac{2,8}{NDES} + 0,02 \text{ CHAR}$ (0,3) (0,002)	$\frac{2}{NDES} + 0,02 \text{ CHAR}$ (0,3) (0,002)
E (s)	0 (1,5)	0 (1,7)	0 (1,6)	0 (2,9)	0 (2,5)	0 (2,8)

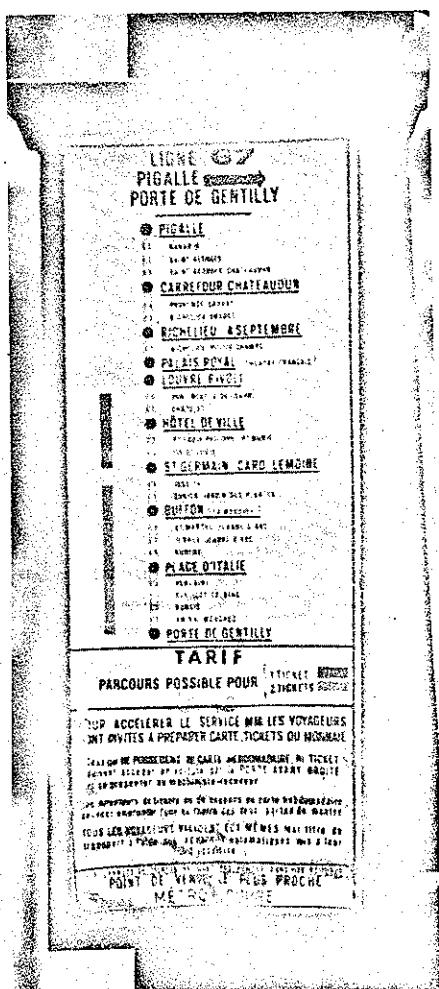
Tableau 3 : Valeurs des paramètres du modèle de temps de descente. Moyenne et, entre parenthèses, écart-type.

Les voyageurs du matin (90 % d'habitués) hésitent moins pour descendre (2,3 s) que ceux de l'après-midi (55 % d'habitués ; 2,9 s). Mais cette hésitation est en moyenne toujours plus forte que lors de la montée (2,2 s).

L'ouverture des portes à la descente crée « un vide » devant le premier passager *. Puis le processus étant amorcé, la vitesse de descente est supérieure en moyenne à la vitesse de montée.

	Matin	Après-midi	Ensemble	Observations
α (indice de compostage)	1,04 (0,01)	1,23 (0,02)	1,14 (0,01)	
V _a (indice d'appréciation)	1,03 (0,01)	1,03 (0,02)	1,03 (0,01)	
T _{reac} (Temps de réaction du conducteur)	2,5 (0,1)	2,5 (0,2)	2,5 (0,1)	2,2 s si porte AV seule (0,2) 2 + 0,034 CHAR (0,1) (0,006)
E (s)	0 (1,5)	0 (2,2)	0 (1,9)	

Tableau 4 : Valeurs des paramètres du modèle de temps d'immobilisation.



En régime saturé, il apparaît un terme supplémentaire constant, dû à la charge et à la gêne que les voyageurs s'occasionnent entre eux. Il s'interprète assez bien si on le considère comme inclus dans l'expression du temps unitaire. Le terme en $1/NDES$ exprime alors le fait que la vitesse de descente marginale d'un passager décroît avec le nombre de descendants. Il s'agit de la représentation d'un phénomène connu : pour une charge importante, une seule personne a du mal à descendre. Par contre, beaucoup de descendants créent un véritable « train de personnes » dans le couloir et chacune a moins de difficulté. De ce point de vue, on peut vérifier que les voyageurs du matin apparaissent en moyenne nettement plus pressés que ceux de l'après-midi.

LE TEMPS D'IMMOBILISATION

Ce temps est défini comme l'intervalle entre deux événements : « ouverture de la 1^{re} porte et arrêt du bus » et « dernière fermeture de porte ». L'analyse en est effectuée en plusieurs étapes.

En excluant les achats de tickets à l'unité et dans le but de mettre en évidence des caractéristiques propres au type d'autobus, il est d'abord étudié une détermination par le temps de montée et de descente. Le modèle suivant a été obtenu :

$$\text{TIMO} = T_{\text{reac}} + V_a \max(\alpha T_{\text{MON}}, T_{\text{DES}}) + E$$

où α : indice de réaction des passagers au mode de compostage

T_{reac} : temps de manœuvre (ou de réaction) du conducteur

V_a : indice d'appréciation du conducteur sur le dernier passager (très proche de 1).

E : résidu aléatoire (ici la variance est relativement faible).

*Lors d'interviews, des voyageurs mentionnent explicitement cette impression de hauteur et de vide.