

IV. CAPACITE ET VITESSE EN FONCTION DE LA GEOMETRIE DES ROUTES ET DES TUNNELS ROUTIERS

IV.1. Introduction

Cette partie traite des différents mouvements de la circulation à l'intérieur d'un tunnel routier en fonction des configurations géométriques du tunnel et des variations de la demande. C'est pourquoi nous avons adapté les considérations et les méthodes de calcul du Manuel de capacité des routes, rapport spécial n° 209, présenté à la réunion du *Transport Research Board (TRB)* de janvier 1995 [6], ainsi que les différentes études préliminaires du Comité AIPCR des Tunnels routiers [7].

Ce chapitre est uniquement consacré aux tunnels à circulation unidirectionnelle et à deux voies.

IV.2. Caractéristiques générales du trafic

Les mouvements de la circulation dans un tunnel à circulation unidirectionnelle et à deux voies sont généralement semblables à ceux d'une autoroute. Les études antérieures du Comité des Tunnels [7] et autres [8] ont permis de constater que les tunnels ont une capacité supérieure (de 10 à 20 %, voire plus) à celle des tronçons similaires, en rase campagne. Cela semble dû à l'attention accrue que l'on porte aux tunnels, ainsi qu'aux conditions de circulation plus fluides et régulières, due à l'absence de manoeuvres brusques.

Le fait que les automobilistes soient de plus en plus habitués à traverser un tunnel sans y faire particulièrement attention explique que leur comportement à l'intérieur et à l'extérieur des tunnels soit plus uniforme, sauf peut-être dans le cas des tunnels extrêmement longs (où la capacité peut être réduite). En conséquence, si le concepteur souhaite réduire la vitesse de circulation dans les tunnels, il doit adopter des mesures (éclairage, couleurs, conception des parois, signalisation, etc.) qui invitent les automobilistes à plus d'attention et de prudence, afin de réduire la vitesse et d'augmenter la sécurité. Dans les longs tunnels, il est important que les automobilistes puissent se localiser, et en particulier sachent à quelle distance de la sortie ils se trouvent.

IV.3. Capacité théorique et capacité pratique

La capacité théorique d'un tronçon routier est l'intensité maximale du trafic par heure. Elle se calcule en fonction du nombre maximum de voitures particulières passant en l'espace de 15 minutes, multiplié par le coefficient correspondant à l'heure de pointe. Ce chiffre n'est pas un maximum absolu ; il se fonde sur une répétabilité raisonnable. Ainsi exprimée, la capacité dépend uniquement du nombre de voies, de leur largeur et des zones hors chaussée, et de la déclivité du tronçon. Elle ne dépend pas du pourcentage de poids lourds, puisqu'il est évident que l'intensité sera maximale lorsque le trafic sera uniquement composé de véhicules légers et d'usagers réguliers. Quand aucun élément ne la limite, la capacité théorique est d'environ **2 200** véhicules par heure et par voie (v/h x v).

Si l'on souhaite connaître la capacité en fonction du nombre de véhicules et du pourcentage de poids lourds, on calcule la capacité pratique. Celle-ci est l'intensité maximale du trafic observable sur le tronçon en question en l'espace de quinze minutes, en fonction de la nature du trafic prédominant en ce point.

La capacité pratique d'un tronçon se calcule en fonction de la capacité théorique, lorsqu'elle n'est limitée par aucun élément (2 200 v/h/v). Les coefficients de limitation appliqués en fonction des caractéristiques réelles de la route sont les suivants :

- **C_l** Coefficient réduisant la capacité en fonction de la largeur des voies et des zones hors chaussée. On considère qu'une voie ne limite pas la capacité pratique lorsque sa largeur est égale ou supérieure à **3,60** m. Une zone hors chaussée ne limite pas la capacité pratique lorsque sa largeur est égale ou supérieure à **1,80** m. Des largeurs supérieures à celles indiquées ne permettent pas une amélioration de la capacité ou du confort de conduite, mais peuvent entraîner une augmentation de la vitesse de circulation. Dans des conditions difficiles, les coefficients doivent être interpolés comme indiqué au tableau 4-1. Les effets réels d'un obstacle sur la circulation doivent être étudiés avec soin. Indépendamment du fait qu'ils soient continus ou discontinus, les obstacles produisent un effet semblable. C'est le cas, par exemple, d'un élément placé à intervalles réguliers. Cependant, les usagers réguliers peuvent s'accoutumer à certains obstacles, de sorte que la capacité ne sera pas réduite. Un exemple typique d'obstacle ne limitant pas la capacité dans le cas d'usagers réguliers est le séparateur en béton rigide de type «New Jersey ». Lorsqu'il existe des obstacles des deux côtés, mais à des distances différentes, il est possible de calculer la distance moyenne de chaque côté.
- **C_{pl}** Coefficient de poids lourd permettant d'ajuster la capacité théorique en fonction du pourcentage de poids lourds et de l'inclinaison et de la longueur de la rampe ou de la pente de la route. Les valeurs de ce coefficient peuvent être déterminées à l'aide du tableau 4-2.
- **C_c** Coefficient de correction en fonction du principal type d'automobiliste. Ce coefficient corrige la capacité si les automobilistes sont des habitués de cette route ou si la circulation est celle d'un jour de semaine. Si ces deux conditions sont réunies, la capacité sera maximale. Si les automobilistes ne sont pas des habitués ou si la circulation est celle d'un jour férié ou d'un week-end, le coefficient peut baisser jusqu'à 75 %.

Tableau 4-1 : Coefficient d'ajustement C_i

Distance entre la route et l'obstacle (en mètres)	Coefficient d'ajustement C _i					
	Obstacles sur un côté			Obstacles sur les deux côtés		
	Largeur de la voie (en mètres)					
	≥3,60	3,30	3,00	≥3,60	3,30	3,00
≥1,80	1,00	0,95	0,90	1,00	0,95	0,90
1,20	0,99	0,94	0,89	0,98	0,93	0,88
0,60	0,97	0,92	0,88	0,95	0,90	0,86
0,00	0,92	0,88	0,84	0,86	0,82	0,78

Tableau 4-2 : Coefficient de poids lourd C_{pl}

Pente (%)	Longueur de la rampe (m)	E _q Coefficient d'équivalence sur les rampes					
		Pourcentage de poids lourds (%)					
		4	6	8	10	15	20
< 2	Toutes	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
2	0-400	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	400-800	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	800-1200	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	1 200-1 600	2	2	1,5	1,5	1,5	1,5
	1 600-2 400	3	3	2,5	2,5	2	2
	> 2 400	3,5	3	2,5	2,5	2	2
3	0-400	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	400-800	2,5	2	2	2	2	1,5
	800-1 200	4	3,5	3,5	3	2,5	2
	1 200-1 600	5,5	4,5	4	4	3,5	3
	1 600-2 400	6	5	4,5	4	4	3
	> 2 400	6	5	4,5	4,5	4	3
4	0-400	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	400-800	4	3,5	3	3	3	2,5
	800-1 200	7	6	5,5	5	4,5	4
	1 200-1 600	8	6,5	6	5,5	4	4,5
	> 1 600	8	7	6	6	5	5
5	0-400	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	400-800	4,5	4	3,5	3	3	2,5
	800-1 200	7	6	5,5	5	4,5	4
	1 200-1 600	9	8	7	7	6	6
	1 600-2 400	9,5	8	7,5	7	6,5	6
	> 2 400	9,5	8	7,5	7	6,5	6

Sur le tableau 4-2, on utilise le coefficient d'équivalence E_q. Celui-ci est le rapport entre la demande de capacité pour les poids lourds (camions, bus, semi-remorques) et la demande de capacité pour les voitures particulières. Le coefficient d'équivalence E_q varie entre 1,5 et 10 ou plus pour les camions et les bus, en fonction de la longueur et de la pente de la rampe, et entre 1,2 et 5 pour les voitures de tourisme.

Une fois le coefficient E_q déterminé, le coefficient C_{pl} est calculé comme suit :

$$C_{pl} = (1 + P_c (E_q - 1))^{-1}$$

où P_c est la proportion de poids lourds dans le trafic total.

IV.4. Calcul de la capacité pratique

La capacité pratique d'une chaussée dans un sens, C_p , est calculée comme suit :

$$C_p = 2 \times 200 \times N \times C_l \times C_{pl} \times C_c$$

où N est le nombre de voies et où les différents coefficients sont ceux indiqués précédemment ($N = 2$ pour les tunnels étudiés dans ce rapport).

IV.5. Niveau de saturation et vitesse de circulation

Le niveau de saturation de la circulation est déterminé en divisant le trafic par la capacité pratique ($NS = I / C_p$),

À des niveaux de saturation peu élevés, la vitesse moyenne dans un tunnel, comme sur une route en rase campagne, dépendra des caractéristiques géométriques du tunnel. Plus les virages sont larges et les pentes douces, plus la vitesse est élevée. Lorsqu'il y a peu d'embouteillages, cette vitesse est appelée **vitesse en régime fluide**. Les autres paramètres qui définissent la vitesse en régime fluide sont le motif du déplacement, la longueur du trajet et les vitesses limites, en particulier si la vitesse fait l'objet de contrôles fréquents et d'amendes élevées. Des expériences japonaises [9] indiquent que les mesures employées pour améliorer la signalisation (types et couleurs du revêtement et du marquage lumineux) peuvent augmenter la vitesse moyenne et la capacité.

Pour un tronçon de route ou de tunnel donné, cette vitesse en régime fluide ne peut être déterminée qu'en mesurant la vitesse dans la pratique.

Toutefois, la vitesse en régime fluide peut être estimée à environ 90 % de la vitesse de base.

À des niveaux de saturation élevés, la vitesse de la circulation est celle indiquée au tableau 4-3.

Comme on peut l'observer, lorsque la route est saturée ($NS = 1$), la vitesse de circulation est d'environ 86 à 91% de la vitesse en régime fluide. Plus le niveau de saturation est bas, plus la vitesse de circulation se rapproche de la vitesse en régime fluide. À des niveaux de saturation élevés, la circulation est encombrée : la vitesse est lente et la circulation est dense.

Les bouchons doivent être évités dans les tunnels, normalement pour limiter le nombre total de personnes impliquées dans des situations d'urgence. En cas de circulation fluide continue, la densité maximale du trafic, exprimée en véhicules par km et par voie (v/km.v), est de 30, ce qui correspond à un espacement inter-véhiculaire de 33 m. En cas de circulation encombrée, la densité peut s'élever jusqu'à 130 v/km.v, ce qui correspond à un espacement d'environ 7,5 m.

Tableau 4-3 : Vitesses de circulation (km/h) en fonction du niveau de saturation

Niveau de saturation (NS)	Vitesse en régime fluide			
	115	105	95	85
0 à 0,4	115	105	95	85
0,5	115	105	95	85
0,6	114,9	105	95	85
0,7	114,3	104,3	93,9	84,9
0,8	110,1	102,1	91,2	84,7
0,9	104,5	97,8	87,8	81,9
1,0 (capacité)	98,5	90,4	84,0	77,3
Vitesse selon capacité / Vitesse en régime fluide	0,86	0,86	0,88	0,91

Il existe peu d'informations sur la différence de vitesse entre les voies de circulation et les voies de dépassement des tunnels. Celle-ci peut atteindre 20 % quand le trafic est faible, et 4 % quand le trafic est élevé, c'est-à-dire proche de 2 200 v/h.v.

IV.6. Conclusion

Les tableaux et les figures présentés dans ce chapitre sont ceux du Manuel de capacité des routes en vigueur depuis des dizaines d'années. Il existe d'autres tableaux et figures dans les réglementations nationales, en raison des différences de réglementation de la circulation, de comportement, etc.