
Analyse de la capacité et du niveau de service

Hamzeh Alizadeh, Ph.D.

Directeur – Recherches et valorisation des données
ARTM

Introduction

- L'objectif est de quantifier la performance d'un segment routier par rapport à des volumes de trafic spécifiés.
- La performance comparative des divers segments de chaussée est importante car elle peut être utilisée comme base pour allouer des fonds, qui sont souvent limités, pour la construction et l'amélioration des segments routiers.
- Notre objectif est d'appliquer les éléments de la théorie de la circulation routière ininterrompue à l'analyse des flux de la circulation et de la capacité.
- Le principal défi d'un tel processus est d'adapter les formulations théoriques au large éventail de conditions qui se produisent sur le terrain.
- Par exemple, q_{cap} est défini comme le débit de trafic le plus élevé que le segment routier est capable de supporter.
 - On peut montrer que la capacité d'un segment de route est fonction de facteurs tels que le type de route (autoroute, route principale à plusieurs voies ou route principale à deux voies), la vitesse de circulation fluide, le nombre de voies et la largeur des voies et des accotements.
 - La méthode de détermination de la capacité doit clairement tenir compte d'une grande variété de caractéristiques physiques et opérationnelles de la chaussée.

Introduction

- Nous avons précédemment défini le flux de trafic sur la base d'unités de véhicules par heure.
- Deux problèmes pratiques se posent :
 1. Dans de nombreux cas, la circulation routière se compose d'une variété de types de véhicules avec des caractéristiques de performance différentes.
 - Ces différences de performance peuvent être amplifiées en modifiant la géométrie de la chaussée (pentes et dénivelées), qui ont un effet sur les capacités d'accélération et de décélération des différents types de véhicules.
 - Par conséquent, la circulation routière doit être définie non seulement en termes de véhicules par unité de temps, mais également en termes de composition des véhicules
 2. La répartition temporelle de la circulation.
 - L'analyse de la circulation routière se concentre généralement sur l'état le plus critique, c'est-à-dire l'heure la plus congestionnée d'une période quotidienne de 24 heures.
 - Même au cours de cette heure de pointe, la circulation est susceptible d'être non uniforme. Il est donc nécessaire de trouver une méthode pour définir et mesurer la non-uniformité du débit à l'heure de pointe.

Notre objectif est de fournir une méthode pratique pour quantifier le degré de congestion et de le relier à la performance globale du segment routier.

Concept de niveau de service

- Le Highway Capacity Manual (HCM) est produit par le Transportation Research Board [2010]
- Il s'agit d'une synthèse de l'état de l'art des méthodologies de quantification de la performance opérationnelle du trafic et de l'utilisation de la capacité (niveau de congestion) pour une variété d'infrastructures routières.
- L'un des principaux concepts définis dans le HCM est le concept de niveau de service (level of service - LOS).
- Il représente un classement qualitatif des conditions opérationnelles de circulation vécues par les utilisateurs dans des conditions spécifiques de la route, de la circulation et des mesures de contrôle.
- La pratique actuelle désigne six niveaux de service allant de A à F, le niveau de service A représentant les meilleures conditions de fonctionnement et le niveau de service F les pires.
- Les automobilistes ont tendance à évaluer la qualité du service qu'ils reçoivent en fonction de facteurs tels que la vitesse et le temps de trajet, la liberté de manœuvre, les interruptions de trafic, le confort et la convenance.
- Il est important de choisir une mesure qui englobe tout ou une partie de ces facteurs.
- La mesure de performance sélectionnée pour l'analyse du niveau de service (LOS) pour une installation particulière de transport est appelée mesure de service.

Concept de niveau de service

Niveau de service A

- Représente les conditions d'écoulement libre.
- Les utilisateurs ne sont pratiquement pas affectés par la présence d'autres personnes dans la circulation.
- La liberté de choisir les vitesses et de manœuvrer dans la circulation est extrêmement élevée.
- Le niveau général de confort et de convenance offert aux conducteurs est excellent.



LOS A

Concept de niveau de service

Niveau de service B

- LOS B permet également des vitesses égales ou proches des vitesses en écoulement libre, mais la présence d'autres utilisateurs commence à être perceptible.
- La liberté de sélection des vitesses est relativement inchangée, mais il y a une légère diminution de la liberté de manœuvre par rapport à LOS A.



LOS B

Concept de niveau de service

Niveau de service C

- LOS C a des vitesses égales ou proches des vitesses d'écoulement libre, mais la liberté de manœuvre est sensiblement restreinte.
- Les changements de voie nécessitent une attention particulière de la part des conducteurs.
- Le niveau général de confort et de convenance diminue significativement à ce niveau.
- Les perturbations, comme un incident, peuvent entraîner la formation d'une file d'attente importante et un retard.
- En revanche, les effets des incidents au niveau LOS A ou LOS B sont minimes, avec seulement un retard mineur dans le voisinage immédiat de l'événement.



LOS C

Concept de niveau de service

Niveau de service D

- LOS D représente les conditions dans lesquelles les vitesses commencent à diminuer légèrement avec l'augmentation du débit.
- La liberté de manœuvre devient plus restreinte et le confort physique et psychologique des chauffeurs diminue.
- Les incidents peuvent générer de longues files d'attente car la densité plus élevée associée à cette LOS offre peu d'espace pour absorber les perturbations.



LOS D

Concept de niveau de service

Niveau de service E

- LOS E représente les conditions de fonctionnement à ou près de la capacité de la chaussée.
- Même des perturbations mineures, telles que des véhicules entrant par une rampe ou des véhicules changeant de voie, peuvent entraîner des retards car d'autres véhicules cèdent le passage pour permettre de telles manœuvres.
- En général, les manœuvres sont extrêmement limitées et les conducteurs ressentent un inconfort physique et psychologique considérable.
- Dans la conception des routes, la possibilité d'une dégradation du niveau de service à LOS E doit être évitée, bien que cela ne soit pas toujours possible en raison de contraintes financières et environnementales.



LOS E

Concept de niveau de service

Niveau de service F

- LOS F décrit une rupture de la circulation routière.
- Des files d'attente se forment rapidement derrière les points de la chaussée où le débit entrant dépasse temporairement le débit sortant.
- Ces points se produisent lors d'incidents et de bretelles d'accès et de sortie, où le trafic entrant ou les manœuvres entraînent un dépassement de la capacité.
- Les véhicules fonctionnent généralement à basse vitesse dans ces conditions et doivent souvent s'arrêter complètement, généralement de manière cyclique (stop and go).
- La formation et la dissipation cyclique des files d'attente est une caractéristique clé du LOS F.



LOS F

Détermination du niveau de service

- Il y a plusieurs étapes dans une détermination de niveau de service de base pour un segment de route avec une circulation ininterrompue
- Cette section décrit les détails généraux de chaque étape.
- Les détails spécifiques à l'application de ces étapes par type de route sont décrits dans les sections qui suivent.

Détermination du niveau de service

Conditions de base et capacité

- La détermination du niveau de service d'un segment routier commence par la spécification des conditions de base de du segment routier.
- Les effets de la performance des véhicules et des caractéristiques de conception de la route sur le flux de la circulation sont mesurés quantitativement, par rapport au trafic de base et aux conditions de base de la conception de la route.
- Pour les chaussées à circulation continue (ininterrompue):
 - État de la route
 - Largeurs de voie, dégagements latéraux, fréquence d'accès (entrées et sorties) et terrain
 - Conditions du flux de la circulation
 - Véhicules lourds et caractéristiques des conducteurs.
- Les conditions de base sont définies comme les conditions non restrictives de la géométrie et de a circulation.
- La capacité d'un segment de route particulier sera maximale lorsque toutes les conditions routières et de circulation atteignent ou dépassent leurs valeurs de base.

Détermination du niveau de service

Conditions de base et capacité

- Des études empiriques ont identifié les valeurs de ces conditions de base pour lesquelles la capacité d'un tronçon routier est maximisée.
- Des valeurs supérieures aux conditions de base n'augmenteront pas la capacité de la chaussée, mais des valeurs plus restrictives que les conditions de base entraîneront une capacité inférieure.
 - Par exemple, des études ont identifié une largeur de voie de base de 12 pieds. C'est-à-dire que des largeurs de voies supérieures à 12 pieds n'entraîneront pas d'augmentation de la capacité; cependant, les largeurs de voie inférieures à 12 pieds entraîneront une réduction de la capacité.
- Les valeurs de capacité pour les conditions de base ont été déterminées pour tous les types d'installations à circulation ininterrompue à partir d'études sur le terrain.
- Il faut noter qu'aux fins de l'analyse du niveau de service, la capacité n'est pas définie comme le débit maximal absolu jamais observé pour un type d'installation particulier, mais plutôt comme le débit maximal auquel on peut raisonnablement s'attendre de manière récurrente.

Détermination du niveau de service

Vitesse d'écoulement libre

- La vitesse d'écoulement libre est la vitesse du trafic lorsque la densité s'approche de zéro.
- En pratique, la vitesse d'écoulement libre est dépendante des caractéristiques de conception de la route (courbes horizontales et verticales, largeur des voies et des accotements et la présence de médiane), la fréquence des points d'accès, la complexité de l'environnement de conduite (distractions possibles, des panneaux de signalisation, etc.), et les limites de vitesse affichées.
- La vitesse d'écoulement libre doit être déterminée compte tenu des caractéristiques du tronçon de chaussée.
- la vitesse d'écoulement libre est la vitesse moyenne du trafic telle que mesurée lorsque les débits sont faibles à modérés.
- Idéalement, la vitesse d'écoulement libre devrait être mesurée directement sur le terrain.
- Cependant, si cela n'est pas possible ou réalisable, une méthode alternative peut être utilisée pour arriver à une estimation de la vitesse d'écoulement libre dans les conditions dominantes.
- Cette méthode effectue des ajustements à une vitesse d'écoulement libre de base (BFFS) en fonction des caractéristiques physiques du segment de route, telles que la largeur de voie, la largeur d'accotement et la fréquence d'accès.
- Cette méthode a la même structure de base pour les différents types de route, mais contient des facteurs d'ajustement et des valeurs appropriés pour chaque type de route.

Détermination du niveau de service

Débit d'analyse

- L'une des entrées fondamentales d'une analyse du trafic est le volume réel de trafic sur la route, en véhicules par heure, auquel est attribué le symbole V .
- Généralement, le volume le plus élevé sur une période de 24 heures (le volume aux heures de pointe) est utilisé pour V dans les calculs d'analyse de la circulation.
- Cependant, ce volume horaire doit être ajusté pour refléter la variation temporelle de la demande dans l'heure d'analyse, les impacts dus aux véhicules lourds et, dans le cas des autoroutes et des routes principales à plusieurs voies, les caractéristiques des conducteurs.
- Pour tenir compte de ces effets, le volume horaire est divisé par des facteurs d'ajustement pour obtenir un débit équivalent en termes de voitures particulières par heure (pc/h).
- De plus, le débit est exprimé par voie ($pc/h/ln$) en divisant par le nombre de voies dans le segment d'analyse.

Détermination du niveau de service

Mesure(s) de service et détermination du niveau de service

- Une fois les étapes précédentes réalisées, il ne reste plus qu'à calculer la valeur de la mesure de service et déterminer le niveau de service (LOS) correspondant.
- Pour les autoroutes et les routes principales à plusieurs voies, il s'agit d'une tâche relativement simple.
- Cependant, pour les autoroutes à deux voies, il existe deux mesures de service, et le calcul de celles-ci et la détermination ultérieure du LOS sont plus complexes.

Segments d'autoroute de base

- Un segment d'autoroute de base est défini comme une section d'une route divisée, ayant deux voies ou plus dans chaque direction, un contrôle d'accès complet et un trafic qui n'est pas affecté par des mouvements de véhicules entrant ou sortant près des bretelles.
- Il est important de noter que l'analyse de la capacité des chaussées divisées se concentre sur le flux dans une seule direction.
- Ceci est raisonnable car l'objectif est de mesurer le niveau de congestion le plus élevé.
- En raison du déséquilibre directionnel des flux de trafic – par exemple, les heures de pointe du matin ont des volumes plus élevés vers le centre-ville et les heures de pointe du soir ont des volumes plus élevés dans la direction inverse – la prise en compte des volumes de trafic dans les deux sens peut sous-estimer sérieusement le vrai niveau de la congestion.

Segments d'autoroute de base

Criterion	LOS				
	A	B	C	D	E
<i>FFS = 75 mi/h</i>					
Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
Average speed (mi/h)	75.0	73.8	68.3	60.9	53.3
Maximum v/c	0.34	0.55	0.74	0.89	1.00
Maximum flow rate (pc/h/ln)	825	1330	1775	2130	2400
<i>FFS = 70 mi/h</i>					
Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
Average speed (mi/h)	70.0	70.0	66.7	60.3	53.3
Maximum v/c	0.32	0.52	0.72	0.88	1.00
Maximum flow rate (pc/h/ln)	770	1260	1735	2110	2400
<i>FFS = 65 mi/h</i>					
Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
Average speed (mi/h)	65.0	65.0	64.0	58.8	52.2
Maximum v/c	0.30	0.50	0.71	0.88	1.00
Maximum flow rate (pc/h/ln)	710	1170	1665	2060	2350
<i>FFS = 60 mi/h</i>					
Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
Average speed (mi/h)	60.0	60.0	60.0	57.1	51.1
Maximum v/c	0.29	0.47	0.68	0.87	1.00
Maximum flow rate (pc/h/ln)	660	1080	1560	2000	2300
<i>FFS = 55 mi/h</i>					
Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
Average speed (mi/h)	55.0	55.0	55.0	54.7	50.0
Maximum v/c	0.27	0.44	0.64	0.85	1.00
Maximum flow rate (pc/h/ln)	605	990	1430	1915	2250

Note: Density is the primary determinant of LOS. Maximum flow rate values are rounded to the nearest 5 passenger cars.

Tableau 1 : Critères de niveau de service

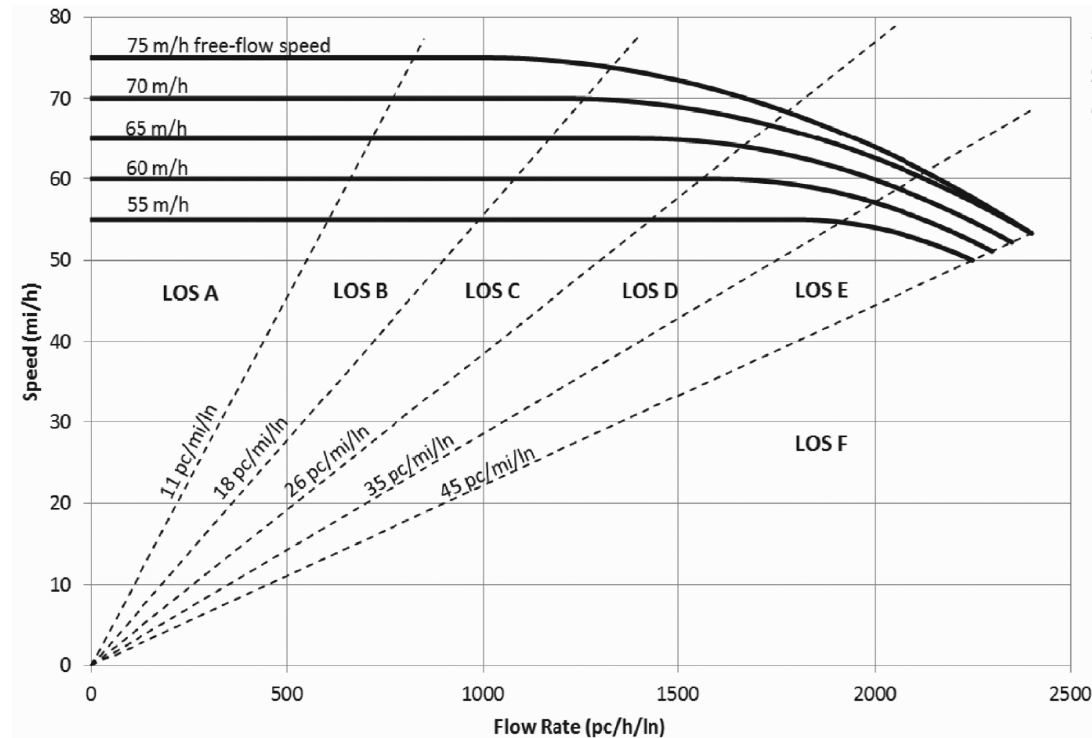


Fig 1: Une représentation graphique des critères de niveau de service

- Le débit de service maximal est le débit maximal, dans les conditions de base, qui peut être soutenu pour un niveau de service donné.
- Cette valeur est liée à la vitesse et à la densité.
- Cette relation vitesse-débit-densité est au cœur de l'analyse des segments d'autoroute de base, comme nous le verrons dans le reste de cette section.

Segments d'autoroute de base

Conditions de base et capacité

- Les conditions de base pour un segment d'autoroute de base sont définies comme suit :
 - Largeur de voie minimale de 12 pieds
 - Dégagement minimum de 6 pieds sur l'accotement droit entre le bord de la voie de circulation et les objets (poteaux électriques, murs de soutènement, etc.) qui influencent le comportement du conducteur
 - Dégagement latéral minimum de 2 pieds du terre-plein central
 - Seules les voitures particulières dans le flux de trafic
 - Cinq voies ou plus dans chaque sens de circulation (zones urbaines uniquement)
 - Espacement d'échange de 2 mi ou plus
 - Terrain plat (pas de pente supérieure à 2 %)
 - Une population de conducteurs majoritairement composée d'usagers familiers de la route
- Ces conditions représentent un niveau de fonctionnement élevé, avec un *FFS* de 70 *mi/h* ou plus.
- La capacité, *c*, pour les segments d'autoroute de base, en voitures particulières par heure et par voie (*pc/h/ln*), est donnée dans le tableau 2.
- Notez que (dans le tableau précédent), la limite supérieure de *LOS E* correspond à la valeur de capacité et à un v/c de 1.0. D'autres valeurs de v/c pour un niveau de service spécifique sont obtenues en divisant simplement le débit maximal pour ce niveau de service par la capacité (le débit maximal au *LOS E*).

**Tableau 2 : capacité des tronçons
autoroutiers de base**

Free-flow speed (mi/h)	Capacity (pc/h/ln)
75	2400
70	2400
65	2350
60	2300
55	2250

Segments d'autoroute de base

Mesure de service

- La mesure de service pour les segments d'autoroute de base est la densité.
- La densité est généralement mesurée en termes de voitures particulières par mile par voie (pc/mi/ln) et fournit donc une bonne mesure de la mobilité relative des véhicules individuels dans le flux de trafic.
- Une faible densité de flux de circulation donne aux véhicules individuels la possibilité de changer de voie et de vitesse avec une relative facilité, tandis qu'une densité élevée rend très difficile la manœuvre des véhicules individuels dans le flux de circulation.
- Ainsi, la densité du trafic est le principal déterminant du niveau de service des autoroutes.
- La densité est calculée comme le débit divisé par la vitesse.
- Les sections suivantes décrivent comment obtenir des valeurs de débit et de vitesse pour des conditions de route et de circulation données.
- Une fois les valeurs de débit et de vitesse sont déterminées en fonction des conditions données, une densité peut être calculée puis référencée dans le tableau 1 ou la figure 1 pour arriver à un niveau de service pour le segment d'autoroute.

$$q = uk$$

q = flow in veh/h,
 u = speed in mi/h, and
 k = density in veh/mi.

Segments d'autoroute de base

Déterminer la vitesse d'écoulement libre

- Pour les segments d'autoroute de base, la vitesse d'écoulement libre est la vitesse moyenne des voitures particulières circulant à des débits allant jusqu'à 1300 voitures particulières par heure et par voie (pc/h/ln).
- Si la vitesse d'écoulement libre doit être estimée plutôt que mesurée, l'équation suivante peut être utilisée.
- Il tient compte des caractéristiques de la chaussée que sont la largeur des voies, le dégagement latéral de l'accotement droit et la densité des bretelles.

$$FFS = 75.4 - f_{LW} - f_{LC} - 3.22TRD^{0.84}$$

FFS = estimated free-flow speed in mi/h,

f_{LW} = adjustment for lane width in mi/h,

f_{LC} = adjustment for lateral clearance in mi/h,

TRD = adjustment for total ramp density in mi/h.

- La valeur constante de 75.4 est considérée comme la vitesse d'écoulement libre de base (BFFS) et s'applique aux autoroutes dans les zones urbaines et rurales.
- La HCM recommande que la vitesse d'écoulement libre calculée soit arrondie aux 5 mi/h les plus proches.

Segments d'autoroute de base

Déterminer la vitesse d'écoulement libre

Ajustement de la largeur de voie

- Lorsque les largeurs de voie sont plus étroites que la base de 12 *ft*, le facteur d'ajustement f_{LW} est utilisé pour refléter l'impact sur la vitesse d'écoulement libre.
- Un tel ajustement est nécessaire car les voies étroites ralentissent la circulation en raison d'un confort psychologique réduit et limitent les manœuvres du conducteur et les options d'évitement des accidents.

Tableau 3 : Ajustement pour la largeur de voie

Lane width (ft)	Reduction in free-flow speed, f_{LW} (mi/h)
12	0.0
11	1.9
10	6.6

$$FFS = 75.4 - f_{LW} - f_{LC} - 3.22TRD^{0.84}$$

FFS = estimated free-flow speed in mi/h,
 f_{LW} = adjustment for lane width in mi/h,
 f_{LC} = adjustment for lateral clearance in mi/h,
 TRD = adjustment for total ramp density in mi/h.

Segments d'autoroute de base

Déterminer la vitesse d'écoulement libre

Ajustement du dégagement latéral

- Lorsque les obstacles sont à moins de 6 *ft* du bord de la route, le facteur d'ajustement f_{LC} est utilisé pour refléter l'impact sur la vitesse d'écoulement libre.
- Encore, ces conditions conduisent à un confort psychologique réduit pour le conducteur et par conséquent à des vitesses réduites.
- Une obstruction est un objet du côté droit qui peut être continu (tel qu'un mur de soutènement ou une barrière) ou périodique (tel que des lampadaires ou des poteaux électriques).
- Le tableau 4 fournit des corrections pour les obstructions du côté droit de la route.

Tableau 4 : Ajustement pour le dégagement latéral de l'épaule droite

Right-shoulder lateral clearance (ft)	Reduction in free-flow speed, f_{LC} (mi/h), lanes in one direction			
	2	3	4	≥5
≥ 6	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.6	0.4	0.2	0.1
4	1.2	0.8	0.4	0.2
3	1.8	1.2	0.6	0.3
2	2.4	1.6	0.8	0.4
1	3.0	2.0	1.0	0.5
0	3.6	2.4	1.2	0.6

$$FFS = 75.4 - f_{LW} - f_{LC} - 3.22TRD^{0.84}$$

FFS = estimated free-flow speed in mi/h,
 f_{LW} = adjustment for lane width in mi/h,
 f_{LC} = adjustment for lateral clearance in mi/h,
 TRD = adjustment for total ramp density in mi/h.

Segments d'autoroute de base

Déterminer la vitesse d'écoulement libre

Ajustement de la densité totale des bretelles d'accès

- La densité des rampes fournit une mesure de l'impact des véhicules entrant et sortant de l'autoroute sur la vitesse de circulation fluide.
- La densité totale des rampes est égale au nombre de bretelles d'accès et de sortie (dans une direction) à une distance de trois milles en amont et de trois milles en aval du point médian du segment d'analyse, divisé par six milles.

$$FFS = 75.4 - f_{LW} - f_{LC} - 3.22TRD^{0.84}$$

FFS = estimated free-flow speed in mi/h,

f_{LW} = adjustment for lane width in mi/h,

f_{LC} = adjustment for lateral clearance in mi/h,

TRD = adjustment for total ramp density in mi/h.

Segments d'autoroute de base

Déterminer le débit d'analyse

- Le débit d'analyse est calculé à l'aide de l'équation suivante

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p}$$

v_p = 15-min passenger car equivalent flow rate (pc/h/ln),

V = hourly volume (veh/h),

PHF = peak-hour factor,

N = number of lanes,

f_{HV} = heavy-vehicle adjustment factor, and

f_p = driver population factor.

- Les facteurs d'ajustement PHF , f_{HV} , et f_p sont décrits ci-après

Segments d'autoroute de base

Déterminer le débit d'analyse

Facteur d'heure de pointe (PHF)

- Les arrivées de véhicules pendant la période d'analyse (heure de pointe) seront probablement non uniformes.
- Pour tenir compte de ce taux d'arrivée variable, le taux d'arrivée maximal des véhicules sur 15 minutes au cours de l'heure d'analyse est généralement utilisé à des fins pratiques d'analyse de la circulation.
- Le facteur d'heure de pointe a été développé à cet effet, et est défini comme le rapport du volume horaire au débit maximal de 15 min expansé à un volume horaire, comme suit :

$$PHF = \frac{V}{V_{15} \times 4}$$

PHF = peak-hour factor,

V = hourly volume for hour of analysis,

V_{15} = maximum 15-min volume within hour of analysis, and

4 = number of 15-min periods per hour.

- Plus le PHF est éloigné de l'unité, plus le flux de trafic est non uniforme pendant l'heure.

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p}$$

v_p = 15-min passenger car equivalent flow rate (pc/h/ln),

V = hourly volume (veh/h),

PHF = peak-hour factor,

N = number of lanes,

f_{HV} = heavy-vehicle adjustment factor, and

f_p = driver population factor.

Segments d'autoroute de base

Déterminer le débit d'analyse

Ajustement pour les véhicules poids lourd

- Les gros camions, les autobus et les véhicules récréatifs ont des caractéristiques de performance (accélération et freinage) et des dimensions (longueur, hauteur et largeur) qui ont un effet négatif sur la capacité de la chaussée.
- En présence de véhicules lourds, le facteur d'ajustement f_{HV} est utilisé pour convertir le flux de trafic des conditions de base aux conditions existantes.
- Déterminez l'équivalent en voiture particulière de chaque gros camion, autobus et véhicule récréatif dans le flux de circulation.
 - Ces valeurs représentent le nombre de voitures particulières qui consommeraient la même quantité de capacité routière qu'un seul gros camion, autobus ou véhicule récréatif.
 - Celles-ci sont notées E_T pour les gros camions et les autobus et E_R pour les véhicules récréatifs, et sont fonction des pentes de la chaussée, car les pentes raides auront tendance à amplifier les mauvaises performances des véhicules lourds ainsi que les problèmes de distance de visibilité causés par leurs dimensions plus grandes.

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p}$$

v_p = 15-min passenger car equivalent flow rate (pc/h/ln),

V = hourly volume (veh/h),

PHF = peak-hour factor,

N = number of lanes,

f_{HV} = heavy-vehicle adjustment factor, and

f_p = driver population factor.

Segments d'autoroute de base

Déterminer le débit d'analyse

Ajustement pour les véhicules poids lourd

- Pour les segments d'autoroute qui contiennent un mélange de pentes, une analyse de segment étendue peut être utilisée tant qu'aucune pente n'est suffisamment raide ou assez longue pour avoir un impact significatif sur les opérations globales du segment.
- À titre indicatif, une analyse de segment étendue peut être utilisée pour les segments d'autoroute où
 - Aucune pente inférieure à 3 % ne mesure plus de 0.5 mi de long,
 - Ou aucune pente de 3 % ou plus ne dépasse 0.25 mi.
- Si une analyse de segment étendue est utilisée, le terrain doit être généralement classé selon les définitions suivantes

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p}$$

v_p = 15-min passenger car equivalent flow rate (pc/h/ln),

V = hourly volume (veh/h),

PHF = peak-hour factor,

N = number of lanes,

f_{HV} = heavy-vehicle adjustment factor, and

f_p = driver population factor.

Segments d'autoroute de base

Déterminer le débit d'analyse

Ajustement pour les véhicules poids lourd

➤ Terrain plat

- Toute combinaison de pentes permettant aux véhicules lourds de maintenir approximativement la même vitesse que les voitures particulières. Cela comprend généralement des pentes ne dépassant pas 2 %.

➤ Terrain vallonné

- Toute combinaison de pentes qui amène les véhicules lourds à réduire leur vitesse significativement en dessous de celle des voitures particulières, mais qui ne fait pas rouler les véhicules lourds à leur vitesse limite pendant une durée significative ou à intervalles fréquents en raison de fortes pentes.

➤ Terrain montagneux

- Toute combinaison de pentes qui oblige les véhicules lourds à rouler à leur vitesse limite sur des distances importantes ou à intervalles fréquents.

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p}$$

v_p = 15-min passenger car equivalent flow rate (pc/h/ln),
 V = hourly volume (veh/h),
 PHF = peak-hour factor,
 N = number of lanes,
 f_{HV} = heavy-vehicle adjustment factor, and
 f_p = driver population factor.

Tableau 5 : Équivalents de voitures particulières pour les segments d'autoroute prolongés

Factor	Type of terrain		
	Level	Rolling	Mountainous
E_T (trucks and buses)	1.5	2.5	4.5
E_R (RVs)	1.2	2.0	4.0

Segments d'autoroute de base

Déterminer le débit d'analyse

Ajustement pour les véhicules poids lourd

- Toute pente qui ne satisfait pas les conditions d'une analyse de segment étendue doit être analysée comme un segment distinct en raison de son impact significatif sur les opérations de circulation.
- Les tableaux 6 et 7 fournissent ces valeurs pour les pentes positives.
- Notez que les facteurs d'équivalence présentés dans ces tableaux augmentent avec l'augmentation de la pente et de la longueur de la pente, mais diminuent avec l'augmentation du pourcentage de véhicules lourds.
- Cette diminution avec l'augmentation du pourcentage est due au fait que les véhicules lourds ont tendance à se regrouper à mesure que leur pourcentage augmente sur des pentes raides et prolongées, diminuant ainsi leur impact négatif sur le flux de circulation.
- Parfois, il est nécessaire de déterminer l'effet cumulatif sur les opérations de circulation de plusieurs pentes raides significatives successives.
- Dans cette situation, une moyenne pondérée en fonction de la distance peut être utilisée si toutes les pentes sont inférieures à 4 % ou si la longueur totale combinée des pentes est inférieure à 4000 pi.
- Par exemple, une pente de 2 % pour 1000 pieds suivie immédiatement d'une pente de 3 % pour 2000 pieds utiliserait le facteur d'équivalence de 2,67 % $\left(\frac{2 \times 1000 + 3 \times 2000}{3000}\right)$ pour 3000 pieds ou 0,568 mi.
- Pour plus d'informations sur des situations d'analyse supplémentaires impliquant des pentes composites, veuillez consulter le Highway Capacity Manual [Transportation Research Board 2010].

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p}$$

v_p = 15-min passenger car equivalent flow rate (pc/h/ln),
 V = hourly volume (veh/h),
 PHF = peak-hour factor,
 N = number of lanes,
 f_{HV} = heavy-vehicle adjustment factor, and
 f_p = driver population factor.

Segments d'autoroute de base

Upgrade (%)	Length (mi)	Percentage of trucks and buses								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
< 2	All	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
≥ 2–3	0.0–0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.25–0.50	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.50–0.75	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.75–1.00	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 1.00–1.50	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
> 3–4	> 1.50	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	0.0–0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.25–0.50	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.50–0.75	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.75–1.00	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
> 4–5	> 1.00–1.50	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 1.50	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
	0.0–0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.25–0.50	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.50–0.75	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
> 5–6	> 0.75–1.00	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.00	5.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0
	0.0–0.25	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.35–0.30	4.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.30–0.50	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
> 6	> 0.50–0.75	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 0.75–1.00	5.5	5.0	4.5	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.00	6.0	5.0	5.0	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
	0.0–0.25	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 0.25–0.30	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 0.30–0.50	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 0.50–0.75	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0
> 6	> 0.75–1.00	6.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5
	> 1.00	7.0	6.0	5.5	5.5	5.0	4.5	4.0	4.0	4.0

Tableau 6 : Équivalents de voitures particulières (E_T) pour les camions et les autobus sur des pentes montant (upgrade)

Upgrade (%)	Length (mi)	Percentage of RVs								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
≤ 2	All	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
> 2–3	0.00–0.50	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	> 0.50	3.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2
> 3–4	0.00–0.25	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	> 0.25–0.50	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
> 4–5	> 0.50	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5
	0.00–0.25	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
> 4–5	> 0.25–0.50	4.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 0.50	4.5	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0
> 5	0.00–0.25	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5
	> 0.25–0.50	6.0	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0
> 5	> 0.50	6.0	4.5	4.0	4.5	3.5	3.0	3.0	2.5	2.0

Tableau 7 : Équivalents de voitures particulières (E_R) pour les VR sur des pentes

Downgrade (%)	Length (mi)	Percentage of trucks			
		5	10	15	20
< 4	All	1.5	1.5	1.5	1.5
> 4–5	≤ 4	1.5	1.5	1.5	1.5
> 4–5	> 4	2.0	2.0	2.0	1.5
> 5–6	≤ 4	1.5	1.5	1.5	1.5
> 5–6	> 4	5.5	4.0	4.0	3.0
> 6	≤ 4	1.5	1.5	1.5	1.5
> 6	> 4	7.5	6.0	5.5	4.5

Tableau 8 : Équivalents de voitures particulières (E_T) pour les camions et les autobus sur des pentes descendant (downgrade)

- On suppose que les véhicules récréatifs ne sont pas significativement touchés par les pentes descendantes et, par conséquent, les valeurs des pentes descendantes sont retirées du tableau 7.

Segments d'autoroute de base

Ajustement pour les véhicules poids lourd (suite)

- Une fois les facteurs d'équivalence appropriés obtenus, l'équation suivante est appliquée pour trouver le facteur d'ajustement pour poids lourds f_{HV} :

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T (E_T - 1) + P_R (E_R - 1)}$$

f_{HV} = heavy-vehicle adjustment factor,

P_T = proportion of trucks and buses in the traffic stream,

P_R = proportion of recreational vehicles in the traffic stream,

E_T = passenger car equivalent for trucks and buses, from Table 6.5, 6.6, or 6.8, and

E_R = passenger car equivalent for recreational vehicles, from Table 6.5 or 6.7.

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p}$$

v_p = 15-min passenger car equivalent flow rate (pc/h/ln),

V = hourly volume (veh/h),

PHF = peak-hour factor,

N = number of lanes,

f_{HV} = heavy-vehicle adjustment factor, and

f_p = driver population factor.

Segments d'autoroute de base

Déterminer le débit d'analyse

Ajustement de la population de conducteurs

- Dans les conditions de base, le flux de trafic est supposé être composé de conducteurs réguliers et de navetteurs.
- Ces conducteurs ont une grande familiarité avec la route et réagissent aux manœuvres des autres conducteurs de manière sûre et prévisible.
- Il y a des moments, cependant, où le flux de trafic est composé une population de conducteurs qui connaît moins la route en question (comme les conducteurs de week-end ou les conducteurs récréatifs).
- De tels conducteurs peuvent entraîner une réduction significative de la capacité de la chaussée par rapport à la condition de base consistant à n'avoir que des conducteurs familiers.
- Le facteur d'ajustement f_p est utilisé et sa plage recommandée est de 0.85 – 1.00.
- Normalement, l'analyste doit sélectionner une valeur de 1.00 pour les flux de trafic principalement constitués de navetteurs (ou de conducteurs familiers).
- Pour les autres populations de conducteurs (par exemple, un grand pourcentage de touristes), la perte de capacité de la chaussée peut varier de 1 % à 15 %.
- La valeur exacte du facteur d'ajustement de la population de conducteurs dépend des conditions locales telles que les caractéristiques de la route et l'environnement immédiat (distractions possibles du conducteur telles que des vues panoramiques, etc.).
- Lorsque la population de conducteurs se compose d'un pourcentage important d'utilisateurs non familiers, le jugement est nécessaire pour déterminer la valeur exacte de ce facteur. Cela implique généralement la collecte de données sur les conditions locales.

v_p = 15-min passenger car equivalent flow rate (pc/h/ln),

V = hourly volume (veh/h),

PHF = peak-hour factor,

N = number of lanes,

f_{HV} = heavy-vehicle adjustment factor, and

f_p = driver population factor.

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p}$$

Segments d'autoroute de base

Calculer la densité et déterminer le niveau de service

- La dernière étape avant que le niveau de service puisse être déterminé consiste à calculer la densité du flux de trafic.

$$D = \frac{v_p}{S}$$

D = density in pc/mi/ln,

v_p = flow rate in pc/h/ln, and

S = average passenger car speed in mi/h.

- La vitesse moyenne des voitures particulières est trouvée en lisant sur l'axe y de la Fig 1 pour le débit correspondant (v_p) et la vitesse d'écoulement libre.
- Une fois la valeur de densité calculée, le niveau de service peut être lu à partir du tableau 1 ou de la figure 1.

Segments d'autoroute de base - Exemple

Problème

- Une autoroute urbaine à six voies (trois voies dans chaque direction) se trouve sur un terrain vallonné avec des voies de 11 pieds, des obstacles à 2 pieds du bord droit de la chaussée et neuf bretelles à moins de trois miles en amont et trois miles en aval du point médian du segment d'analyse.

Le flux de trafic se compose principalement de navetteurs. Un volume directionnel aux heures de pointe en semaine de 2300 véhicules est observé, avec 700 véhicules arrivant dans la période de 15 minutes la plus congestionnée. Si le flux de trafic compte 15 % de gros camions et d'autobus et aucun véhicule récréatif, déterminez le niveau de service.

Segments d'autoroute de base - Exemple

Solution

Déterminer la vitesse

d'écoulement libre $FFS = 75.4 - f_{LW} - f_{LC} - 3.22TRD^{0.84}$

$f_{LW} = 1.9$ mi/h Tableau 3

$f_{LC} = 1.6$ mi/h Tableau 4

$$TRD = \frac{9}{6} = 1.5 \text{ ramps/mi}$$

Arrondir cette valeur aux 5 mi/h les plus proches donne une valeur de 65 mi/h

$$FFS = 75.4 - 1.9 - 1.6 - 3.22(1.5)^{0.84} = 67.4 \text{ mi/h}$$

Déterminer le débit

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p}$$

$$PHF = \frac{2300}{700 \times 4} = 0.821$$

$$N = 3$$

$$f_p = 1.0 \text{ Navetteurs}$$

$$E_T = 2.5 \text{ Terrain vallonné}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.15(2.5 - 1)} = 0.816$$

$$v_p = \frac{2300}{0.821 \times 3 \times 0.816 \times 1.0} = 1144.4 \rightarrow 1145 \text{ pc/h/ln}$$

L'obtention de la vitesse moyenne des voitures particulières à partir de la Fig. 1 pour un débit de 1145 et une vitesse d'écoulement libre de 65 mi/h donne un S de 65 mi/h.

Dans ce cas, la vitesse moyenne est toujours la même que la vitesse d'écoulement libre car le débit est suffisamment faible pour qu'il soit toujours sur la partie plate de la courbe vitesse-débit.



Densité

$$D = \frac{1145}{65} = 17.6 \text{ pc/mi/ln}$$

D'après le tableau 1 ou la figure 1, on peut voir que cela correspond à LOS B.

Segments d'autoroute de base - Exemple

Problème

- Considérez les conditions d'autoroute et de circulation dans l'exemple précédent. À un moment donné plus loin le long de la chaussée, il y a une montée de 6 % qui fait 1.5 mille de long. Toutes les autres caractéristiques sont les mêmes que dans l'exemple précédent.

Quel est le niveau de service de ce segment de la route et combien de véhicules peuvent être ajoutés avant que la route n'atteigne sa capacité (en supposant que la proportion de types de véhicules et le facteur d'heures de pointe restent constants) ?

Segments d'autoroute de base - Exemple

Solution

Tous les facteurs d'ajustement restent les mêmes sauf f_{HV}



D'après le tableau 6,
 $E_T = 3.5$



$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.15(3.5 - 1)} = 0.727$$



$$v_p = \frac{2300}{0.821 \times 3 \times 0.727 \times 1.0} = 1284.5 \rightarrow 1285 \text{ pc/h/ln}$$

D'après la Fig. 6.2, la vitesse moyenne des voitures particulières (S) est toujours de 65 mi/h



$$D = \frac{1285}{65} = 19.8 \text{ pc/mi/ln}$$

LOS C à partir du tableau 1 ou de la figure 1

Pour déterminer combien de véhicules peuvent être ajoutés avant que la capacité ne soit atteinte, le volume horaire à capacité doit être calculé.



Pour une vitesse d'écoulement libre de 65 mi/h, la capacité est de 2350 pc/h/ln (tableau 1)

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p} \Rightarrow 2350 = \frac{V}{0.821 \times 3 \times 0.727 \times 1.0}$$



$$V = 4208 \text{ veh/h.}$$



Environ 1908 véhicules (4208-2300) peuvent être ajoutés pendant l'heure de pointe avant que la capacité ne soit atteinte.

Routes principales à plusieurs voies

- Les routes principales à plusieurs voies sont similaires aux autoroutes à bien des égards, à l'exception de quelques différences clés :
 - Les véhicules peuvent entrer ou sortir de la chaussée aux intersections à niveau et aux allées (ne dispose pas d'un contrôle d'accès complet).
 - Les routes principales à plusieurs voies peuvent ou non être divisées (par une barrière ou un terre-plein), alors que les autoroutes sont toujours divisées.
 - Des feux de circulation peuvent être présents.
 - Les normes de conception (ex. vitesse) sont parfois inférieures à celles des autoroutes.
 - Le cadre et le développement visuels sont généralement plus distrayants pour les conducteurs.
- Les routes principales à plusieurs voies ont généralement quatre ou six voies (dans les deux sens),
- Ils ont des limitations de vitesse entre 40 et 60 mi/h,
- Ils peuvent avoir des médianes / terre-plein qui sont des voies bidirectionnelles de virage à gauche ou des volumes directionnels opposés qui peuvent ne pas être divisés du tout par une médiane.



Routes principales à plusieurs voies

- La détermination du niveau de service sur les routes principales à voies multiples est très similaire à la procédure pour les autoroutes.
- Les principales différences résident dans certains des facteurs d'ajustement et leurs valeurs.
- La procédure présentée n'est valable que pour les tronçons d'autoroute qui ne sont pas significativement influencés par la formation et la dissipation des grandes files d'attente résultant des feux de circulation (espacés de 2.0 mi ou plus), qui n'ont pas de stationnement sur rue important, qui n'ont pas d'arrêts d'autobus à haut utilisation, et n'ont pas d'activité piétonne importante.
- La capacité, c , pour les tronçons de routes principales à voies multiples, en $pc/h/ln$, est donnée dans le tableau 9.

Tableau 9 : Relation entre la vitesse en circulation libre et la capacité sur les tronçons de route principale à plusieurs voies

Free-flow speed (mi/h)	Capacity (pc/h/ln)
60	2200
55	2100
50	2000
45	1900

Routes principales à plusieurs voies

Criterion	LOS				
	A	B	C	D	E
<i>FFS = 60 mi/h</i>					
Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	40
Average speed (mi/h)	60.0	60.0	59.4	56.7	55.0
Maximum v/c	0.30	0.49	0.70	0.90	1.00
Maximum flow rate (pc/h/ln)	660	1080	1550	1980	2200
<i>FFS = 55 mi/h</i>					
Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	41
Average speed (mi/h)	55.0	55.0	54.9	52.9	51.2
Maximum v/c	0.29	0.47	0.68	0.88	1.00
Maximum flow rate (pc/h/ln)	600	990	1430	1850	2100
<i>FFS = 50 mi/h</i>					
Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	43
Average speed (mi/h)	50.0	50.0	50.0	48.9	47.5
Maximum v/c	0.28	0.45	0.65	0.86	1.00
Maximum flow rate (pc/h/ln)	550	900	1300	1710	2000
<i>FFS = 45 mi/h</i>					
Maximum density (pc/mi/ln)	11	18	26	35	45
Average speed (mi/h)	45.0	45.0	45.0	44.4	42.2
Maximum v/c	0.26	0.43	0.62	0.82	1.00
Maximum flow rate (pc/h/ln)	490	810	1170	1550	1900

Tableau 10 : Critères de niveau de service

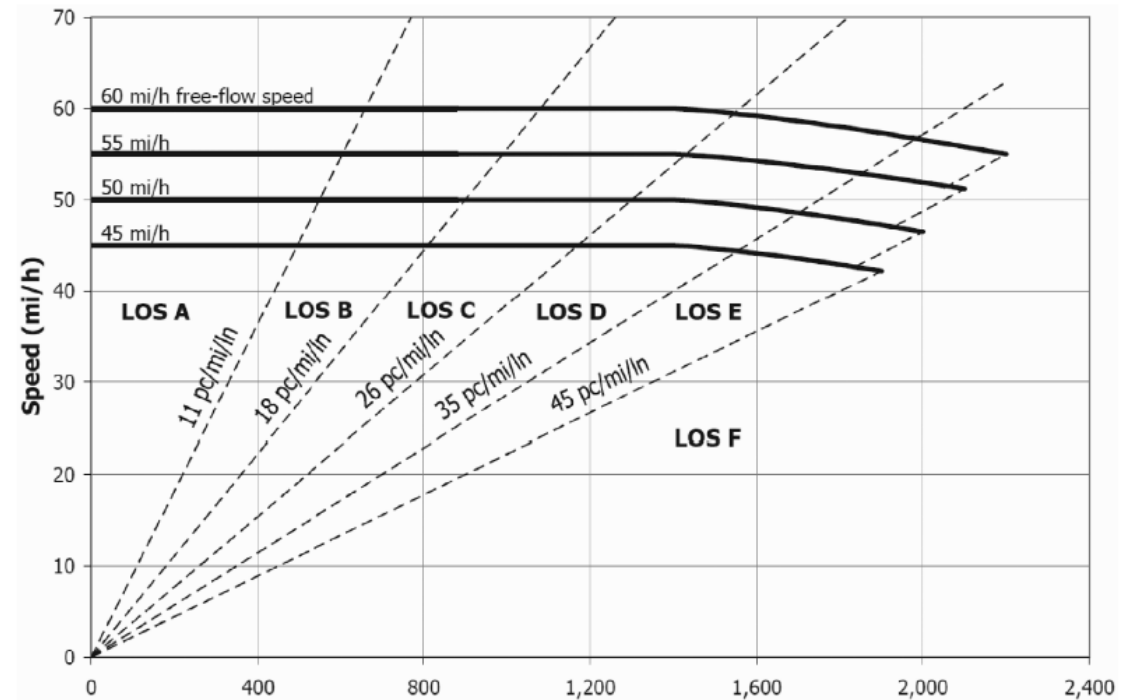


Fig 2 : Une représentation graphique des critères de niveau de service

Routes principales à plusieurs voies

Conditions de base et capacité

- Les conditions de base pour les routes principales à plusieurs voies sont définies comme suit :
 - Largeurs de voie minimales de 12 pieds
 - Dégagement latéral total minimum de 12 pieds par rapport aux objets en bordure de route (épaule droite et médiane) dans le sens de la circulation
 - Seules des voitures particulières dans le flux de trafic
 - Pas d'accès direct le long de la route
 - Route séparée (dans les deux directions)
 - Terrain plat (pas de pente supérieure à 2 %)
 - Population de conducteurs majoritairement composée d'usagers familiers
 - Vitesse d'écoulement libre de 60 mi/h ou plus
- Des ajustements devront être apportés lorsque des conditions non fondamentales sont rencontrées.

Mesure de service

- La densité est la mesure de service pour les routes principales à plusieurs voies.

Routes principales à plusieurs voies

Déterminer la vitesse d'écoulement libre

- la vitesse d'écoulement libre pour les routes à plusieurs voies est la vitesse moyenne des voitures particulières circulant à des débits allant jusqu'à 1 400 voitures particulières par heure et par voie (pc/h/lv).
- Si la vitesse d'écoulement libre doit être estimée plutôt que mesurée, l'équation suivante peut être utilisée :

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A$$

FFS = estimated free-flow speed in mi/h,

$BFFS$ = estimated free-flow speed, in mi/h, for base conditions,

f_{LW} = adjustment for lane width in mi/h,

f_{LC} = adjustment for lateral clearance in mi/h,

f_M = adjustment for median type in mi/h, and

f_A = adjustment for the number of access points along the roadway in mi/h.

- La principale différence avec les autoroutes est qu'elle inclut également un ajustement pour le type de séparation (terre-plein).
- La présence d'une barrière physique ou d'une large séparation entre les flux opposés conduira à des vitesses d'écoulement libre plus élevées.
- Le HCM recommande que la vitesse d'écoulement libre calculée soit arrondie aux 5 mi/h les plus proches.

Routes principales à plusieurs voies

Déterminer la vitesse d'écoulement libre

Ajustement de la largeur de voie

- Les mêmes valeurs de facteur d'ajustement de largeur de voie sont utilisées pour les routes principales à plusieurs voies que pour les autoroutes (tableau 3)

Tableau 3 : Ajustement pour la largeur de voie

Lane width (ft)	Reduction in free-flow speed, f_{LW} (mi/h)
12	0.0
11	1.9
10	6.6

FFS = estimated free-flow speed in mi/h,
 $BFFS$ = estimated free-flow speed, in mi/h, for base conditions,
 f_{LW} = adjustment for lane width in mi/h,
 f_{LC} = adjustment for lateral clearance in mi/h,
 f_M = adjustment for median type in mi/h, and
 f_A = adjustment for the number of access points along the roadway in mi/h.

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A$$

Routes principales à plusieurs voies

Déterminer la vitesse d'écoulement libre

Ajustement du dégagement latéral

- Nous devons d'abord calculer le dégagement latéral total, qui est défini comme :

$$TLC = LC_R + LC_L$$

TLC = total lateral clearance in ft,

LC_R = lateral clearance on the right side of the travel lanes to obstructions (retaining walls, utility poles, signs, trees, etc.), and

LC_L = lateral clearance on the left side of the travel lanes to obstructions.

- Pour les routes principales non divisées, il n'y a pas d'ajustement pour le dégagement latéral gauche car celui-ci est déjà pris en compte dans le terme f_M (donc $LC_L = 6\text{ ft}$ dans l'équation).
- Si un dégagement latéral individuel (côté gauche ou droit) dépasse 6 pieds, 6 pieds est utilisé dans l'équation.
- Enfin, les routes principales dotées de voies de virage à gauche à double sens (TWLTL) sont considérées comme ayant LC_L égal à 6 ft.
- Une fois le TLC calculé, la valeur de f_{LC} peut être déterminée directement à partir du tableau 11 :

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A$$

FFS = estimated free-flow speed in mi/h,

$BFFS$ = estimated free-flow speed, in mi/h, for base conditions,

f_{LW} = adjustment for lane width in mi/h,

f_{LC} = adjustment for lateral clearance in mi/h,

f_M = adjustment for median type in mi/h, and

f_A = adjustment for the number of access points along the roadway in mi/h.

Table 11: Adjustment for Lateral

Total lateral clearance* (ft)	Reduction in free-flow speed (mi/h)	
	Four-lane highways	Six-lane highways
12	0.0	0.0
10	0.4	0.4
8	0.9	0.9
6	1.3	1.3
4	1.8	1.7
2	3.6	2.8
0	5.4	3.9

* Le dégagement latéral total est la somme des dégagements latéraux de la médiane (si supérieur à 6 pieds, utiliser 6 pieds) et de l'épaule (si supérieur à 6 pieds, utiliser 6 pieds). Par conséquent, à des fins d'analyse, le dégagement latéral total ne peut pas dépasser 12 pieds.

Routes principales à plusieurs voies

Déterminer la vitesse d'écoulement libre

Ajustement pour le terre-plein

- Les routes principales non divisées ont une vitesse libre qui est 1.6 *mi/h* inférieure à celle des routes principales divisées

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A$$

FFS = estimated free-flow speed in mi/h,

BFFS = estimated free-flow speed, in mi/h, for base conditions,

f_{LW} = adjustment for lane width in mi/h,

f_{LC} = adjustment for lateral clearance in mi/h,

f_M = adjustment for median type in mi/h, and

f_A = adjustment for the number of access points along the roadway in mi/h.

Tableau 12: Ajustement pour le type de terre-plein

Median type	Reduction in free-flow speed (mi/h)
Undivided highways	1.6
Divided highways (including TWLTLs)	0.0

Routes principales à plusieurs voies

Déterminer la vitesse d'écoulement libre

Ajustement pour la fréquence d'accès

- Les points d'accès sont définis pour inclure les intersections et les voies d'accès (sur le côté droit de la route dans la direction considérée) qui influencent de manière significative la circulation, et n'incluent donc généralement pas les voies d'accès aux résidences individuelles ou les voies d'accès aux sites commerciaux.

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A$$

FFS = estimated free-flow speed in mi/h,
 $BFFS$ = estimated free-flow speed, in mi/h, for base conditions,
 f_{LW} = adjustment for lane width in mi/h,
 f_{LC} = adjustment for lateral clearance in mi/h,
 f_M = adjustment for median type in mi/h, and
 f_A = adjustment for the number of access points along the roadway in mi/h.

Tableau 13: Ajustement pour la fréquence d'accès

Access points/ mile	Reduction in free-flow speed (mi/h)
0	0.0
10	2.5
20	5.0
30	7.5
≥ 40	10.0

Routes principales à plusieurs voies

Déterminer le débit d'analyse

- Le débit d'analyse pour les routes principales à voies multiples est déterminé de la même manière que pour les autoroutes.
- Il existe une différence mineure pour les routes à voies multiples : les lignes directrices pour une analyse de segment étendu.
 - Une analyse de segment étendu (type de terrain général) peut être utilisée pour les segments de routes principales à plusieurs voies si les pentes de 3 % ou moins ne s'étendent pas sur plus de 1 *mi* ou si les pentes supérieures à 3 % ne s'étendent pas sur plus de 0,5 *mi*.

Calculer la densité et déterminer le niveau de service

- La procédure de calcul de la densité et de détermination du niveau de service pour les routes principales à plusieurs voies est essentiellement la même que pour les autoroutes.
- Des courbes vitesse – débit et des critères de niveau de service légèrement différents sont utilisés pour les routes principales à plusieurs voies.
- Le tableau 10 montre les critères de niveau de service pour les routes principales à plusieurs voies, et la figure 2 montre les courbes vitesse – débit correspondantes pour les routes principales à plusieurs voies.
- La vitesse moyenne des voitures particulières est lue sur l'axe y de la Fig. 2 pour le débit d'analyse correspondant (v_p) et la vitesse d'écoulement libre.
- Une fois la valeur de densité calculée, le niveau de service peut être lu à partir du Tableau 10 ou de la Fig. 2.

Routes principales à plusieurs voies - Exemple

Problème

Une route principale non divisée à quatre voies (deux voies dans chaque direction) a des voies de 11 pieds, avec des accotements de 4 pieds sur le côté droit. Il y a sept points d'accès par mile et la limite de vitesse affichée est de 50 mi/h. Quelle est la vitesse d'écoulement libre estimée ?

Routes principales à plusieurs voies - Exemple

Solution

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A$$

→ $BFFS = 55$ mi/h (assume $FFS = \text{posted speed} + 5$ mi/h),

$f_{LW} = 1.9$ mi/h *TLC = 4 + 6 = 10, avec LCL = 6 ft car*

$f_{LC} = 0.4$ mi/h *l'autoroute n'est pas divisée*

$f_M = 1.6$ mi/h

$f_A = 1.75$ mi/h *Par interpolation*

→ $FFS = 55 - 1.9 - 0.4 - 1.6 - 1.75 = 49.35$ mi/h



- Cela signifie que les caractéristiques plus contraignantes de la route par rapport aux conditions de base entraînent une réduction de la vitesse d'écoulement libre de 5.65 mi/h.
- Notez que pour d'autres analyses cette valeur doit être arrondie à 50 mi/h.

Routes principales à plusieurs voies - Exemple

Problème

Une route principale divisée à six voies (trois voies dans chaque direction) est sur un terrain vallonné avec deux points d'accès par mile et a des voies de 10 pieds, avec un accotement de 5 pieds sur le côté droit et un épaulement de 3 pieds sur le côté gauche .

Le facteur d'heure de pointe est de 0,80 et le volume directionnel d'heure de pointe est de 3000 véhicules par heure. Il y a 6 % de gros camions, 2 % d'autobus et 2 % de véhicules récréatifs. Un pourcentage important d'usagers non familiers de la route se trouvent dans le flux de circulation (le facteur d'ajustement de la population de conducteurs est estimé à 0,95). Aucune étude de vitesse n'est disponible, mais la limite de vitesse affichée est de 55 mi/h.

Déterminez le niveau de service.

Routes principales à plusieurs voies - Exemple

Solution

Nous commençons par la détermination de la vitesse d'écoulement libre

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A \rightarrow$$

$BFFS = 60 \text{ mi/h}$ (en supposant que FFS = vitesse affichée + 5 mi/h)
 $f_{LW} = 6.6 \text{ mi/h}$
 $f_{LC} = 0.9 \text{ mi/h}$ $TLC = 5 + 3 = 8$
 $f_M = 0.0 \text{ mi/h}$
 $f_A = 0.5 \text{ mi/h}$ Par interpolation

Arrondir cette valeur aux 5 mi/h les plus proches donne un FFS de 50 mi/h.

$$\rightarrow FFS = 60.0 - 6.6 - 0.9 - 0.0 - 0.5 = 52.0 \text{ mi/h}$$

Déterminer le débit d'analyse

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p} \rightarrow$$

$V = 3000 \text{ veh/h}$
 $PHF = 0.80$
 $N = 3$
 $f_p = 0.95$
 $E_T = 2.5$
 $E_R = 2.0$

$$\rightarrow f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.08(2.5 - 1) + 0.02(2 - 1)} = 0.877$$

$$\downarrow$$

$$v_p = \frac{3000}{0.8 \times 3 \times 0.877 \times 0.95} = 1500.3 \text{ pc/h/ln}$$

- En utilisant la Fig. 2, pour FFS = 50 mi/h, notez que le débit de 1500,3 pc/h/ln croise cette courbe dans la région de densité LOS D.
- Par conséquent, cette autoroute fonctionne à un niveau de service D

Routes principales à plusieurs voies - Exemple

Problème

Un fabricant local souhaite ouvrir une usine à proximité du tronçon de route principale décrit dans l'exemple précédent. Combien de gros camions peuvent être ajoutés au volume directionnel aux heures de pointe avant que la capacité ne soit atteinte ? (Ajoutez uniquement les camions et supposez que le PHF reste constant.)

Routes principales à plusieurs voies - Exemple

Solution

- Le FFS reste inchangé à 50 mi/h.
- Le tableau 10 montre que la capacité pour FFS = 50 mi/h est de 2000 pc/h/ln.
- Le nombre actuel de gros camions et d'autobus dans le flux de trafic aux heures de pointe est de 240 ($0,08 \times 3\,000$) et le nombre actuel de véhicules récréatifs est de 60 ($0,02 \times 3\,000$).
- Dénotons le nombre de nouveaux camions ajoutés par V_{nt} ; la combinaison des deux équations ci-dessus donne :

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T (E_T - 1) + P_R (E_R - 1)}$$



$$v_p = \frac{V + V_{nt}}{(PHF)(N) \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{240 + V_{nt}}{V + V_{nt}} \right) (E_T - 1) + \left(\frac{60}{V + V_{nt}} \right) (E_R - 1)} \right] (f_p)}$$

$$\begin{aligned} v_p &= 2000 \text{ pc/h/ln} \\ V &= 3000 \text{ veh/h} \\ PHF &= 0.80 \\ N &= 3 \\ f_p &= 0.95 \\ E_T &= 2.5 \\ E_R &= 2.0 \end{aligned}$$



$$2000 = \frac{3000 + V_{nt}}{(0.80)(3) \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{240 + V_{nt}}{3000 + V_{nt}} \right) (2.5 - 1) + \left(\frac{60}{3000 + V_{nt}} \right) (2 - 1)} \right] (0.95)}$$

→ $V_{nt} = 456$

Route principale à deux voies

- Routes principales avec une voie disponible dans chaque direction
- Une distinction clé avec les autoroutes et les routes principales à plusieurs voies est que le trafic dans les deux sens doit maintenant être pris en compte
- La circulation dans la direction opposée a une forte influence sur le niveau de service.
 - Un volume de trafic opposé élevé limite la possibilité de dépasser des véhicules lents et oblige ainsi à réduire la vitesse de circulation.
- Le type de terrain joue un rôle plus critique dans les calculs du niveau de service en raison de la capacité limitée à dépasser des véhicules plus lents sur des pentes dans des zones où le dépassement est interdit en raison de restrictions de distance de visibilité ou lorsque le trafic opposé ne permet pas un dépassement en toute sécurité.



Route principale à deux voies

Conditions de base et capacité

- Les conditions de base pour les routes principales à deux voies sont définies comme suit :
 - 12 – *ft* largeurs de voie minimales
 - 6 – *ft* largeurs d'accotement minimales
 - 0% de zones interdites de dépassement sur le tronçon routier
 - Que des voitures particulières dans le flux de trafic
 - Pas d'accès direct le long de la chaussée
 - Aucun obstacle dû aux mesures de contrôle de la circulation ou aux virages des véhicules
 - Terrain plat (pas de pente supérieure à 2 %)
- La capacité des segments étendus de routes principales à deux voies dans les conditions de base est de 1700 voitures particulières par heure (*pc/h*) dans une direction, ou 3200 *pc/h* lorsque les deux directions sont prises en compte.
- Du fait des interactions entre les deux sens de circulation, le débit maximal dans le sens opposé est limité à 1500 *pc/h* quand l'autre sens est à un débit de 1700 *pc/h*.

Route principale à deux voies

Mesures de service

➤ Trois mesures de service ont été identifiées pour les routes principales à deux voies :

1. Pourcentage de temps passé en situation de poursuite (Percent time spent following - PTSF)

- Le pourcentage moyen de temps de trajet que les véhicules doivent parcourir derrière des véhicules plus lents en raison du manque d'opportunités de dépassement
- Le PTSF est difficile à mesurer sur le terrain
- Il est recommandé que le pourcentage de véhicules circulant avec des intervalles inférieurs à 3 secondes à un emplacement représentatif soit utilisé comme mesure de substitution.
- Le PTSF est généralement représentatif de la liberté de manœuvre d'un conducteur dans le flux de trafic.

2. Vitesse Moyenne de déplacement (Average travel speed - ATS)

- La longueur du segment d'analyse divisée par le temps de trajet moyen de tous les véhicules traversant le segment pendant la période d'analyse.
- L'ATS est un indicateur de la mobilité sur une route principale à deux voies.

3. Pourcentage de vitesse d'écoulement libre (Percent of free-flow speed - PFFS)

1. Vitesse moyenne de déplacement du segment d'analyse divisée par la vitesse d'écoulement libre du segment d'analyse.
2. Le PFFS est un indicateur pour illustrer à quel point les véhicules sont capables de se déplacer à la vitesse souhaitée.

Route principale à deux voies

Mesures de service

- La mesure de service et les seuils correspondants qui déterminent le niveau de service dépendent de la classification fonctionnelle de la route principale à deux voies.
 1. Classe I
 - Les automobilistes s'attendent à rouler à grande vitesse et à éviter de suivre longtemps les autres véhicules.
 - Ils comprennent les routes interurbaines, les artères principales reliant les principaux générateurs de trafic, les itinéraires quotidiens des navetteurs et les liens principaux des réseaux routiers provinciaux ou nationaux.
 2. Classe II
 - Les automobilistes ne s'attendent pas forcément à rouler à grande vitesse.
 - Il comprend des routes plus courtes et des routes qui traversent un terrain accidenté, pour lesquelles les vitesses de déplacement seront généralement inférieures à celles des routes de classe I.
 - Dans ces situations, les automobilistes veulent avant tout éviter de suivre longtemps d'autres véhicules.
 3. Classe III
 - Les automobilistes ne s'attendent pas à des occasions de dépassement fréquentes ou à rouler à grande vitesse.
 - Itinéraires panoramiques, itinéraires récréatifs ou itinéraires qui traversent des zones peu développées (petites villes).
 - Ils ont généralement des limites de vitesse affichées plus basses, et les automobilistes ne voient généralement pas d'inconvénient à suivre d'autres véhicules ou à rouler à des vitesses plus lentes, tant qu'ils sont capables de se déplacer à une vitesse proche de la limite de vitesse affichée.

Route principale à deux voies

Déterminer la vitesse d'écoulement libre

- La vitesse d'écoulement libre pour les routes principales à deux voies est la vitesse moyenne de tous les véhicules circulant à des débits allant jusqu'à 200 *pc/h* au total dans les deux sens..
- Les vitesses d'écoulement libre sur les autoroutes à deux voies varient généralement de 45 à 65 *mi/h*.
- Si la mesure sur le terrain de la vitesse d'écoulement libre ne peut pas être effectuée dans des conditions avec un débit de 200 *pc/h* ou moins, un ajustement peut être effectué avec l'équation suivante :

$$FFS = S_{FM} + 0.00776 \left(V_f / f_{HV} \right)$$

FFS = estimated free-flow speed in mi/h,

S_{FM} = mean speed of traffic measured in the field in mi/h,

V_f = observed flow rate, in veh/h, for the period when field data were obtained, and

f_{HV} = heavy-vehicle adjustment factor

- Si la vitesse d'écoulement libre doit être estimée plutôt que mesurée sur le terrain, l'équation suivante peut être utilisée :

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

FFS = estimated free-flow speed in mi/h,

BFFS = estimated free-flow speed, in mi/h, for base conditions,

f_{LS} = adjustment for lane width and shoulder width in mi/h, and

f_A = adjustment for the number of access points along the roadway in mi/h.

- Les données de vitesse et la connaissance locale des conditions de fonctionnement sur des routes similaires peuvent être utilisées pour développer une estimation de la vitesse d'écoulement libre de base.

Route principale à deux voies

Déterminer la vitesse d'écoulement libre

Ajustement pour la largeur de voie et la largeur d'accotement

Tableau 14 : Ajustement pour la largeur de voie et la largeur d'accotement

Lane width (ft)	Reduction in free-flow speed (mi/h) Shoulder width (ft)			
	$\geq 0 < 2$	$\geq 2 < 4$	$\geq 4 < 6$	≥ 6
$9 < 10$	6.4	4.8	3.5	2.2
$\geq 10 < 11$	5.3	3.7	2.4	1.1
$\geq 11 < 12$	4.7	3.0	1.7	0.4
≥ 12	4.2	2.6	1.3	0.0

Ajustement pour la fréquence du point d'accès

- Identique à celle des routes principales à plusieurs voies

Tableau 15 : Ajustement pour la fréquence du point d'accès

Access points/ mile	Reduction in free-flow speed (mi/h)
0	0.0
10	2.5
20	5.0
30	7.5
≥ 40	10.0

Route principale à deux voies

Déterminer le débit d'analyse

- Le débit horaire doit être ajusté pour tenir compte du débit de pointe sur 15 minutes, du terrain et de la présence de véhicules lourds dans le flux de circulation.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF \times f_G \times f_{HV}}$$

v_i = 15-min passenger car equivalent flow rate for direction i (pc/h),

V_i = hourly volume for direction i (veh/h),

i = “ d ” for analysis direction, “ o ” for opposing direction

PHF = peak-hour factor,

f_G = grade adjustment factor, and

f_{HV} = heavy-vehicle adjustment factor.

- Il ne contient pas de facteur d'ajustement pour la population de conducteurs.
- Bien qu'il soit raisonnable de supposer que les conducteurs familiers avec la route l'utiliseront plus efficacement que les utilisateurs récréatifs ou non familiers de l'installation, les études n'ont pas identifié de différence significative entre les deux populations de conducteurs.

Route principale à deux voies

Déterminer le débit d'analyse

Facteur d'heure de pointe (PHF)

- Le PHF pour les routes principales à deux voies est calculé de la même manière que pour les autoroutes et les routes principales à plusieurs voies.
- La seule distinction est que, parce que la méthodologie d'analyse des routes principales à deux voies prend en compte les deux sens de circulation pour l'analyse de chaque sens de circulation, le PHF doit être calculé pour les deux sens de circulation combinés.

Route principale à deux voies

Déterminer le débit d'analyse

Facteur d'ajustement de pente

- Le facteur d'ajustement de la pente tient compte de l'effet du terrain sur la circulation.

Tableau 16 : Facteur d'ajustement de la pente pour la vitesse de déplacement moyenne (ATS) et le pourcentage de temps en poursuite (PTSF)

Directional demand flow rate (veh/h)	Average travel speed (mi/h)		Percent time spent following	
	Level terrain	Rolling terrain	Level terrain	Rolling terrain
≤ 100	1.00	0.67	1.00	0.73
200	1.00	0.75	1.00	0.80
300	1.00	0.83	1.00	0.85
400	1.00	0.90	1.00	0.90
500	1.00	0.95	1.00	0.96
600	1.00	0.97	1.00	0.97
700	1.00	0.98	1.00	0.99
800	1.00	0.99	1.00	1.00
≥ 900	1.00	1.00	1.00	1.00

* Linear interpolation to the nearest 0.01 is recommended.

Route principale à deux voies

Déterminer le débit d'analyse

Facteur d'ajustement pour véhicules lourds

- Le facteur d'ajustement pour véhicules lourds tient compte de l'effet sur le débit de la circulation en raison de la présence de camions, d'autobus et de véhicules récréatifs dans le flux de circulation.
- Les valeurs d'équivalence pour les véhicules poids lourds pour terrain plat et vallonné pour l'ATS et le PTSF sont indiquées dans le tableau 17.
- Les routes principales à deux voies en terrain montagneux doivent être analysées comme des montées et descentes spécifiques (le lecteur est référé au Highway Capacity Manual).

Tableau 17 : Équivalents voitures particulières pour les véhicules lourds pour la vitesse de déplacement moyenne (ATS) et le pourcentage de temps en poursuite (PTSF)

Vehicle type	Directional flow rate (veh/h)	Average travel speed (mi/h)		Percent time spent following	
		Level terrain	Rolling terrain	Level terrain	Rolling terrain
Trucks and buses, E_T	≤ 100	1.9	2.7	1.1	1.9
	200	1.5	2.3	1.1	1.8
	300	1.4	2.1	1.1	1.7
	400	1.3	2.0	1.1	1.6
	500	1.2	1.8	1.0	1.4
	600	1.1	1.7	1.0	1.2
	700	1.1	1.6	1.0	1.0
	800	1.1	1.4	1.0	1.0
	≥ 900	1.0	1.3	1.0	1.0
RVs, E_R	All flows	1.0	1.1	1.0	1.0

* Linear interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Route principale à deux voies

Calcul des mesures de service

- Si l'autoroute est *Class I*, *ATS* et *PTSF* doivent être calculés.
- Si l'autoroute est *Class II*, seul *PTSF* doit être calculé.
- Si l'autoroute est *Class III*, seul *ATS* doit être calculé.

Vitesse de déplacement moyenne

- La vitesse de déplacement moyenne dépend de la vitesse d'écoulement libre

$$ATS_d = FFS - 0.00776(v_d + v_o) - f_{np}$$

ATS_d = average travel speed in the analysis direction in mi/h,

FFS = free-flow speed in mi/h,

v_d = analysis flow rate for analysis direction in pc/h,

v_o = analysis flow rate for opposing direction in pc/h,

f_{np} = adjustment factor for the percentage of no-passing zones, (*Tableau 18*)

Route principale à deux voies

Tableau 18 : Ajustement pour les zones sans dépassement sur la vitesse de déplacement moyenne

Opposing flow rate, v_o (pc/h)	No-passing zones (%)				
	≤ 20	40	60	80	100
FFS ≥ 65 mi/h					
≤ 100	1.1	2.2	2.8	3.0	3.1
200	2.2	3.3	3.9	4.0	4.2
400	1.6	2.3	2.7	2.8	2.9
600	1.4	1.5	1.7	1.9	2.0
800	0.7	1.0	1.2	1.4	1.5
1000	0.6	0.8	1.1	1.1	1.2
1200	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1
1400	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9
≥ 1600	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
FFS = 60 mi/h					
≤ 100	0.7	1.7	2.5	2.8	2.9
200	1.9	2.9	3.7	4.0	4.2
400	1.4	2.0	2.5	2.7	3.9
600	1.1	1.3	1.6	1.9	2.0
800	0.6	0.9	1.1	1.3	1.4
1000	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2
1200	0.5	0.7	0.9	0.9	1.1
1400	0.5	0.6	0.8	0.8	0.9
≥ 1600	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7
FFS = 55 mi/h					
≤ 100	0.5	1.2	2.2	2.6	2.7
200	1.5	2.4	3.5	3.9	4.1
400	1.3	1.9	2.4	2.7	2.8
600	0.9	1.1	1.6	1.8	1.9
800	0.5	0.7	1.1	1.2	1.4
1000	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1
1200	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0
1400	0.5	0.6	0.7	0.7	0.9
≥ 1600	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7

Opposing flow rate, v_o (pc/h)	No-passing zones (%)				
	≤ 20	40	60	80	100
FFS = 50 mi/h					
≤ 100	0.2	0.7	1.9	2.4	2.5
200	1.2	2.0	3.3	3.9	4.0
400	1.1	1.6	2.2	2.6	2.7
600	0.6	0.9	1.4	1.7	1.9
800	0.4	0.6	0.9	1.2	1.3
1000	0.4	0.4	0.7	0.9	1.1
1200	0.4	0.4	0.7	0.8	1.0
1400	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8
≥ 1600	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
FFS ≤ 45 mi/h					
≤ 100	0.1	0.4	1.7	2.2	2.4
200	0.9	1.6	3.1	3.8	4.0
400	0.9	0.5	2.0	2.5	2.7
600	0.4	0.3	1.3	1.7	1.8
800	0.3	0.3	0.8	1.1	1.2
1000	0.3	0.3	0.6	0.8	1.1
1200	0.3	0.3	0.6	0.7	1.0
1400	0.3	0.3	0.6	0.6	0.7
≥ 1600	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6

* Linear interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Route principale à deux voies

Calcul des mesures de service

Pourcentage de temps passé en poursuite

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np} \left(\frac{v_d}{v_d + v_o} \right)$$

$PTSF_d$ = percent time spent following in the analysis direction,

$BPTSF_d$ = base percent time spent following in the analysis direction,

f_{np} = adjustment factor for the percentage of no-passing zones, (Tableau 19)

$$BPTSF_d = 100 \left[1 - \exp(-av_d^b) \right]$$

Où a et b sont des constantes
déterminées à partir du tableau 20

Route principale à deux voies

Calculating Service Measures

Pourcentage de temps passé en poursuite

Tableau 20 : Coefficients de PTSF à utiliser dans l'équation

Opposing Flow Rate, v_o (pc/h)	Coefficient a	Coefficient b
≤ 200	-0.0014	0.973
400	-0.0022	0.923
600	-0.0033	0.870
800	-0.0045	0.833
1000	-0.0049	0.829
1200	-0.0054	0.825
1400	-0.0058	0.821
≥ 1600	-0.0062	0.817

* Linear interpolation of a to the nearest 0.0001 and b to the nearest 0.001 is recommended.

Tableau 19 : Ajustement pour les zones interdites de passage sur le pourcentage de temps en poursuite

Two-way flow rate, $v_d + v_o$ (pc/h)	No-passing zones (%)					
	0	20	40	60	80	100
Directional split = 50/50						
≤ 200	9.0	29.2	43.4	49.4	51.0	52.6
400	16.2	41.0	54.2	61.6	63.8	65.8
600	15.8	38.2	47.8	53.2	55.2	56.8
800	15.8	33.8	40.4	44.0	44.8	46.6
1400	12.8	20.0	23.8	26.2	27.4	28.6
2000	10.0	13.6	15.8	17.4	18.2	18.8
2600	5.5	7.7	8.7	9.5	10.1	10.3
3200	3.3	4.7	5.1	5.5	5.7	6.1
Directional split = 60/40						
≤ 200	11.0	30.6	41.0	51.2	52.3	53.5
400	14.6	36.1	44.8	53.4	55.0	56.3
600	14.8	36.9	44.0	51.1	52.8	54.6
800	13.6	28.2	33.4	38.6	39.9	41.3
1400	11.8	18.9	22.1	25.4	26.4	27.3
2000	9.1	13.5	15.6	16.0	16.8	17.3
2600	5.9	7.7	8.6	9.6	10.0	10.2
Directional split = 70/30						
≤ 200	9.9	28.1	38.0	47.8	48.5	49.0
400	10.6	30.3	38.6	46.7	47.7	48.8
600	10.9	30.9	37.5	43.9	45.4	47.0
800	10.3	23.6	28.4	33.3	34.5	35.5
1400	8.0	14.6	17.7	20.8	21.6	22.3
2000	7.3	9.7	15.7	13.3	14.0	14.5
Directional split = 80/20						
≤ 200	8.9	27.1	37.1	47.0	47.4	47.9
400	6.6	26.1	34.5	42.7	43.5	44.1
600	4.0	24.5	31.3	38.1	39.1	40.0
800	4.8	18.5	23.5	28.4	29.1	29.9
1400	3.5	10.3	13.3	16.3	16.9	32.2
2000	3.5	7.0	8.5	10.1	10.4	10.7
Directional split = 90/10						
≤ 200	4.6	24.1	33.6	43.1	43.4	43.6
400	0.0	20.2	28.3	36.3	36.7	37.0
600	-3.1	16.8	23.5	30.1	30.6	31.1
800	-2.8	10.5	15.2	19.9	20.3	20.8
1400	-1.2	5.5	8.3	11.0	11.5	11.9

* Linear interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Route principale à deux voies

Calculating Service Measures

Pourcentage de vitesse d'écoulement libre

$$PFFS_d = \frac{ATS_d}{FFS}$$

$PFFS_d$ = percent free-flow speed in the analysis direction,

ATS_d = average travel speed in the analysis direction in mi/h,

FFS = free-flow speed in mi/h, as measured in the field

Route principale à deux voies

Détermination du niveau de service (LOS)

- La première étape de la détermination de *LOS* consiste à comparer le débit d'analyse, v_d , à la capacité directionnelle de 1700 *pc/h*.
- Si v_d dépasse 1700, le *LOS* est *F*, et l'analyse se termine.
- Dans ce cas, *PTSF* est pratiquement 100%, et les vitesses sont très variables et difficiles à estimer.
- Si la capacité dans le sens d'analyse n'est pas dépassée, alors les débits de demande combinés ($v_d + v_o$) pour les deux sens doivent être comparés à la capacité bidirectionnelle de 3200 *pc/h*.
- Si la capacité dans les deux sens est dépassée, se référer au manuel de Highway Capacity Manual
- Si la capacité n'est pas dépassée, les valeurs calculées de *PTSF*, *ATS* et/ou *PFFS* sont utilisées avec le tableau 21 pour déterminer les *LOS*.
- Pour qu'une catégorie *LOS* particulière s'applique aux routes de classe I, les seuils pour *PTSF* et *ATS* doivent être atteints.
- Par exemple, pour que *LOS B* s'applique, *PTSF* doit être inférieur ou égal à 50 % et *ATS* doit être supérieur à 50 *mi/h*. Si, pour une autoroute à deux voies particulière, *PTSF* est de 45 % et *ATS* est de 48 *mi/h*, le *LOS* serait *C*.

Table 21: LOS Criteria for Two-Lane Highways

LOS	Class I		Class II	Class III
	Percent time spent following (<i>PTSF</i>)	Average travel speed (<i>ATS</i>) mi/h	Percent time spent following (<i>PTSF</i>)	Percent free-flow speed (<i>PFFS</i>)
A	≤ 35	> 55	≤ 40	> 91.7
B	≤ 50	> 50	≤ 55	> 83.3–91.7
C	≤ 65	> 45	≤ 70	> 75.0–83.3
D	≤ 80	> 40	≤ 85	> 66.7–75.0
E	> 80	≤ 40	> 85	≤ 66.7

Note: LOS F applies whenever the flow rate exceeds the segment capacity.

Route principale à deux voies – Exemple

Problème

Un segment d'une route principale à deux voies *Class I* est sur un terrain vallonné et a un volume horaire de 1000 *veh/h* (total pour les deux sens), une répartition directionnelle du trafic de 60/40, et $PHF = 0,92$, et le flux de trafic contient 5 % de gros camions, 2 % d'autobus et 6 % de véhicules récréatifs. Pour ces conditions, déterminer les débits de sens d'analyse [1] et de sens opposé [2] pour *ATS* et *PTSF*.

Route principale à deux voies – Exemple

Solution

Calculer le volume horaire pour chaque direction →

$$V_d = 1000 \times 0.60 = 600 \text{ veh/h}$$

$$V_o = 1000 \times 0.40 = 400 \text{ veh/h}$$

Calculer le débit, en veh/h, qui sera utilisé pour déterminer l'ajustement de la pente et les valeurs PCE. →

$$\frac{V_d}{PHF} = \frac{600}{0.92} \cong 652$$

$$\frac{V_o}{PHF} = \frac{400}{0.92} \cong 435$$

Les valeurs pour ATS :

$$f_G = 0.98 [1]; 0.92 [2] \quad \text{Tableau 16 par interpol.}$$

$$E_T = 1.6 [1]; 1.9 [2] \quad \text{Tableau 17 par interpol.}$$

$$E_R = 1.1 [1]; 1.1 [2] \quad \text{Tableau 17 par interpol.}$$

$$f_{HV[1]} = \frac{1}{1 + 0.07(1.6 - 1) + 0.06(1.1 - 1)} = 0.954$$

$$f_{HV[2]} = \frac{1}{1 + 0.07(1.9 - 1) + 0.06(1.1 - 1)} = 0.935$$

Substitution des valeurs f_{HV} et f_G →

$$v_d = \frac{600}{0.92 \times 0.98 \times 0.954} = 697.6 \rightarrow \underline{\underline{698 \text{ pc/h}}}$$

$$v_o = \frac{400}{0.92 \times 0.92 \times 0.935} = 505.4 \rightarrow \underline{\underline{506 \text{ pc/h}}}$$

Les valeurs pour PTSF :

$$f_G = 0.98 [1]; 0.92 [2] \quad \text{Tableau 16 par interpol.}$$

$$E_T = 1.1 [1]; 1.5 [2] \quad \text{Tableau 17 par interpol.}$$

$$E_R = 1.0 [1]; 1.0 [2] \quad \text{Tableau 17 par interpol.}$$

$$f_{HV} = 0.993 [1]; 0.966 [2]$$

Substitution des valeurs f_{HV} et f_G →

$$v_d = \underline{\underline{671 \text{ pc/h}}}$$

$$v_o = \underline{\underline{490 \text{ pc/h}}}$$

Route principale à deux voies – Exemple

Problème

Le segment d'autoroute à deux voies de l'exemple précédent présente les caractéristiques supplémentaires suivantes :

Voies de 11 pieds, accotements de 2 pieds, fréquence d'accès de 10 par mille, 50 % de zones sans dépassement et un FFS de base de 55 mi/h. À l'aide des débits d'analyse pour l'ATS et le PTSF de l'exemple précédent, déterminez le niveau de service pour ce segment d'autoroute à deux voies.

Route principale à deux voies – Exemple

Solution

Nous commençons par vérifier si le tronçon d'autoroute est en surcapacité. Les débits pour la direction d'analyse de 698 et 671 pour ATS et $PTSF$, respectivement, sont tous deux bien inférieurs à la capacité directionnelle de 1700 pc/h . De plus, les débits combinés ($v_d + v_o$) de 1204 et 1161 pour ATS et $PTSF$, respectivement, sont inférieurs à la capacité bidirectionnelle de 3200 pc/h .

→ Nous estimons d'abord la vitesse d'écoulement libre

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

$$BFFS = 55 \text{ mi/h}$$

$$f_{LS} = 3.0 \text{ mi/h}$$

$$f_A = 2.5 \text{ mi/h}$$

$$\rightarrow FFS = 55 - 3.0 - 2.5 = 49.5 \text{ mi/h}$$

Les valeurs pour ATS donneront :



$$ATS = FFS - 0.00776(v_d + v_o) - f_{np}$$

$$FFS = 49.5 \text{ mi/h}$$

$$v_d = 698 \text{ pc/h}$$

$$v_o = 506 \text{ pc/h}$$

$$f_{np} = 1.45 \text{ mi/h}$$

$$ATS_d = 49.5 - 0.00776(698 + 506) - 1.45 = 38.7 \text{ mi/h}$$

Les valeurs pour $PTSF$ donneront :



$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np} \left(\frac{v_d}{v_d + v_o} \right)$$

$$v_d = 698 \text{ pc/h}$$

$$a = -0.0028$$

$$b = 0.8949$$

$$BPTSF_d = 100 \left[1 - \exp(a v_d^b) \right]$$

$$BPTSF_d = 100 \left[1 - \exp(-0.0028(698)^{0.8949}) \right] = 62.5\%$$

- f_{np} se trouve à 27,75 % d'après le tableau 19, par interpolation linéaire pour le débit bidirectionnel et le pourcentage de zones sans passage.
- Notez qu'une interpolation linéaire à trois dimensions est également possible avec ce tableau si la répartition directionnelle ne tombe pas dans l'une des cinq catégories prédéfinies.

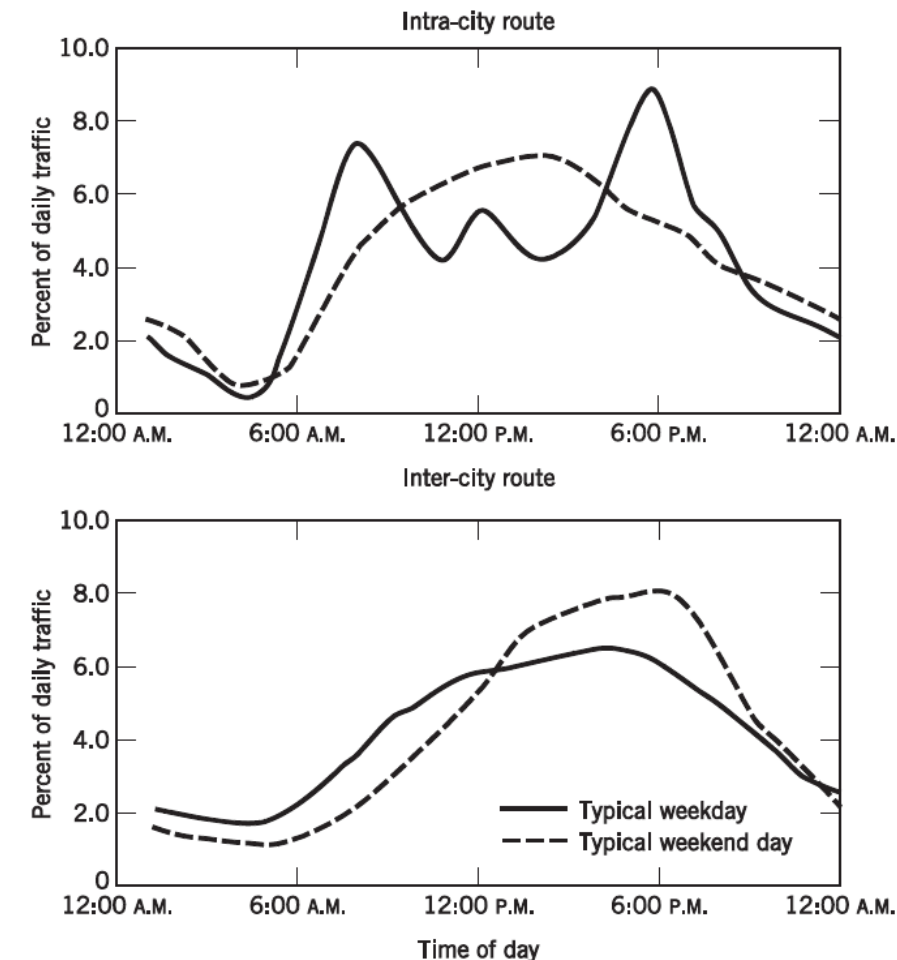
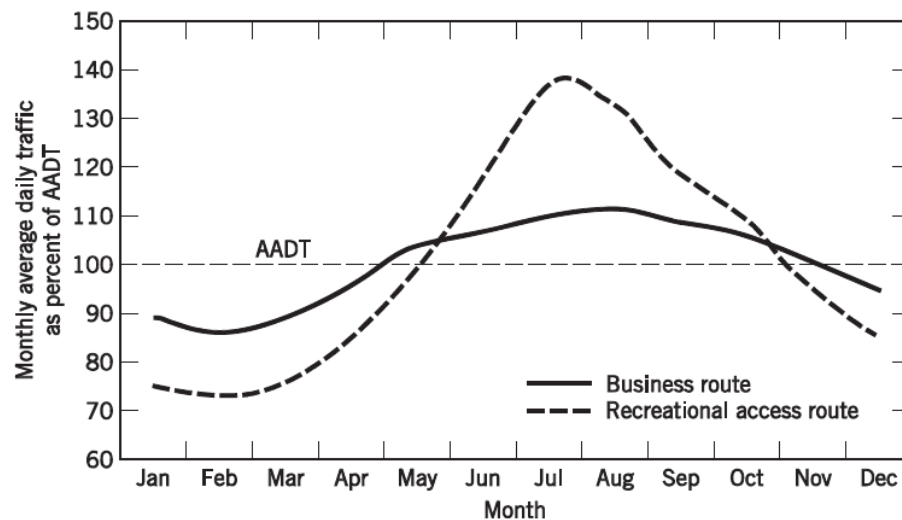
$$\rightarrow PTSF_d = 62.5 + 27.75 \left(\frac{698}{698 + 506} \right) = 78.6\%$$

- La LOS est calculée à partir du Tableau 21 sur la base des valeurs ATS et $PTSF$.
- Pour une route de classe I, le LOS est E.
- Bien que le $PTSF$ tombe dans la catégorie LOS D, l' ATS tombe dans la catégorie LOS E ; ainsi, ATS détermine le LOS.

Volumes de conception

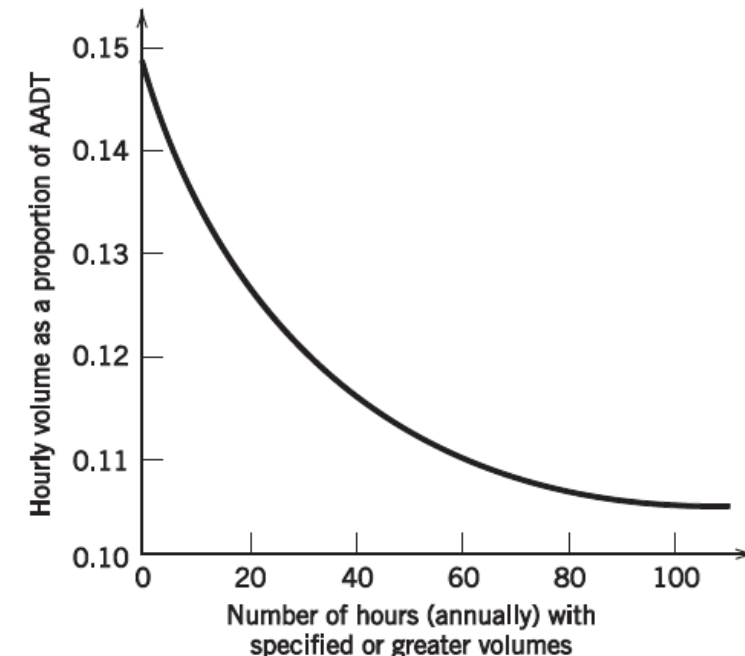
- Dans les sections précédentes de ce chapitre, on s'est penché sur la détermination du niveau de service, compte tenu d'un certain volume horaire.
- Cependant, une procédure de sélection d'un volume horaire approprié est nécessaire pour calculer le niveau de service et pour déterminer le nombre de voies qui doivent être fournies dans une nouvelle conception de route pour atteindre un certain niveau de service spécifié.
- La sélection d'un volume horaire approprié est compliquée
- Le volume de circulation varie considérablement selon l'heure de la journée, le jour de la semaine, la période de l'année et le type de route. (image de droite)
- L'image de gauche illustre les variations selon la période de l'année en comparant le trafic journalier moyen mensuel au trafic journalier moyen annuel (DJMA – AADT en anglais)

AADT: Le volume de trafic annuel total divisé par le nombre de jours dans l'année (véhicules par jour)



Volumes de conception

- Compte tenu de la variabilité temporelle du flux de trafic, quel volume horaire retenir pour la conception et/ou l'analyse ?
- Considérez l'exemple illustré sur le diagramme
- Ce diagramme trace le volume horaire (en pourcentage du DJMA) par rapport au nombre cumulé d'heures qui dépassent ce volume, par an.
 - Le débit de trafic le plus élevé de l'année, sur cet échantillon de chaussée, aurait un volume horaire de $0,148 \times \text{DJMA}$ (un volume jamais dépassé durant les autres heures).
 - Soixante heures dans l'année auraient un volume supérieur à $0,11 \times \text{DJMA}$
- Lors de la détermination du nombre de voies, il est évident que l'utilisation de la pire heure d'une année serait un gaspillage de ressources car des voies supplémentaires seraient fournies pour un événement relativement rare.
- En revanche, si le 100e volume le plus élevé est utilisé, le niveau de service de conception sera dépassé 100 fois par an, ce qui entraînera un retard considérable.
- Un certain compromis entre les dépenses liées à une capacité supplémentaire et les dépenses occasionnées par un retard supplémentaire doit être fait.



Volumes de conception

- Une pratique courante aux États-Unis consiste à utiliser un volume horaire de conception compris entre les 10^e et 50^e heures les plus volumineuses de l'année.
- Le volume horaire le plus couramment utilisé pour la conception des chaussées est peut-être le 30^e plus élevé de l'année.
- En pratique, le facteur K est utilisé pour convertir le débit journalier moyen annuel (DJMA) au 30^e volume horaire le plus élevé. K is defined as:

$$K = \frac{DHV}{AADT}$$

K = factor used to convert annual average daily traffic to a specified annual hourly volume,

DHV = design hour-volume (typically, the 30th highest annual hourly volume), and

AADT = roadway's annual average daily traffic in veh/day.

- Plus généralement, K_i peut être défini comme le facteur K correspondant au i^{th} volume horaire annuel le plus élevé.
- Enfin, dans la conception et l'analyse de certains types de routes (comme les autoroutes et les routes principales à voies multiples), il faudrait trouver de trafic directionnels:

$$DDHV = K \times D \times AADT$$

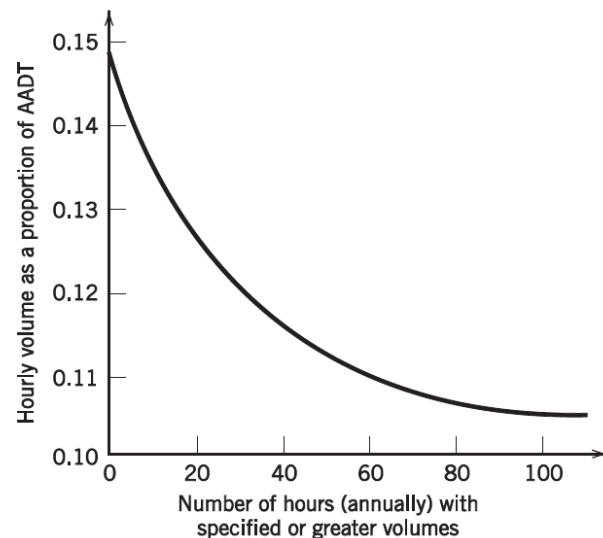
DDHV = directional design-hour volume,

D = directional distribution factor to reflect the proportion of peak-hour traffic volume traveling in the peak direction, and

Volumes de conception – Exemple

Problème

Une autoroute doit être conçue comme une infrastructure réservée aux voitures particulières pour un *DJMA* de 35 000 véhicules par jour. On estime que l'autoroute aura une vitesse d'écoulement libre de 70 *mi/h*. La conception sera destinée aux navetteurs et le facteur aux heures de pointe est estimé à 0.85, 65 % du trafic aux heures de pointe circulant dans la direction de pointe. En supposant que la figure suivante s'applique, déterminez le nombre de voies nécessaires pour fournir un niveau de service *LOS C* en utilisant le volume horaire annuel le plus élevé et le 30^e volume horaire annuel le plus élevé.



Volumes de conception – Exemple

Solution

À partir de la figure :

Le volume horaire annuel le plus élevé :

$$K_1 = 0.148$$



$$DDHV = K_1 \times D \times AADT$$

$$= 0.148 \times 0.65 \times 35,000 = 3367 \text{ veh/h}$$

Pour le volume horaire annuel le plus élevé

Nous devrions utiliser l'équation suivante pour trouver v_p sur la base d'un nombre supposé de voies.

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p} \rightarrow v_p = \frac{3367}{0.85 \times 2 \times 1.0 \times 1.0} = 1980.6 \text{ pc/h/ln}$$

$$\begin{aligned} V &= 3367 \text{ (DDHV from above),} \\ f_{HV} &= 1.0 \text{ (no heavy vehicles), and} \\ f_p &= 1.0 \text{ (commuters).} \end{aligned}$$

Cette valeur est supérieure à 1735, nous devons donc ajouter plus de voies

$$v_p = \frac{3367}{0.85 \times 3 \times 1.0 \times 1.0} = 1320.4 \text{ pc/h/ln}$$

Étant donné que cette valeur est inférieure à 1735, une autoroute à six voies est nécessaire pour fournir un fonctionnement en LOS C pour le débit de circulation de conception.

À partir de la figure :

Pour le 30^e volume horaire annuel le plus élevé

$$K_{30} = K = 0.12$$

$$DDHV = K \times D \times AADT$$

$$= 0.12 \times 0.65 \times 35,000 = 2730 \text{ veh/h}$$

$$\rightarrow v_p = \frac{2730}{0.85 \times 2 \times 1.0 \times 1.0} = 1605.9 \text{ pc/h/ln}$$

Une autoroute à quatre voies est suffisante



Cet exemple montre l'impact du choix du débit de conception sur la conception de la route. Seule une autoroute à 4 voies est nécessaire pour fournir le LOS C pour le 30^e volume horaire annuel le plus élevé, par opposition à une autoroute à 6 voies nécessaire pour satisfaire l'exigence de LOS pour le volume horaire annuel le plus élevé.

À partir du tableau 1 :

Débit de service maximal

LOS C
FFS = 70 mi/h



1735 pc/h/ln

Le flux de trafic par voie doit être inférieur ou égal à cette valeur

Références

- May, A. D. (1990). *Traffic flow fundamentals*.
- Gartner, N. H., Messer, C. J., & Rathi, A. (2002). Traffic flow theory-A state-of-the-art report: revised monograph on traffic flow theory.
- Ni, D. (2015). *Traffic flow theory: Characteristics, experimental methods, and numerical techniques*. Butterworth-Heinemann.
- Kessels, F., Kessels, R., & Rauscher. (2019). *Traffic flow modelling*. Springer International Publishing.
- Treiber, M., & Kesting, A. (2013). Traffic flow dynamics. *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2014). *Traffic and highway engineering*. Cengage Learning.
- Elefteriadou, L. (2014). *An introduction to traffic flow theory* (Vol. 84). New York: Springer.
- Victor L. Knoop (2017), Introduction to Traffic Flow Theory, Second edition
- Serge P. Hoogendoorn, Traffic Flow Theory and Simulation
- Nicolas Saunier, Course notes for “Traffic Flow Theory – CIV6705”
- Mannering, F., Kilareski, W., & Washburn, S. (2007). *Principles of highway engineering and traffic analysis*. John Wiley & Sons.
- Haight, F. A. (1963). *Mathematical theories of traffic flow* (No. 519.1 h3).

