

1. Introduction

Contexte

Cet article est le troisième d'une série d'articles présentés sur les voies urbaines :

- *Vers une nouvelle classification fonctionnelle en milieu urbain prenant en compte les modes actifs*, avril 2009
- *Le « boulevard urbain » un concept européen de mobilité durable applicable au Québec*, avril 2010
- *Les facteurs d'influence de la vitesse sur les voies urbaines pour une conception plus sécuritaire*, avril 2011 et septembre 2012 (version revue et améliorée)

Le but recherché est de partager les connaissances dans le domaine de la gestion de la vitesse en milieu urbain pour que praticiens puissent concevoir des routes plus humaines, sûres et crédibles pour les propriétaires d'infrastructures et les usagers qui les utilisent.

Objectifs de cet article

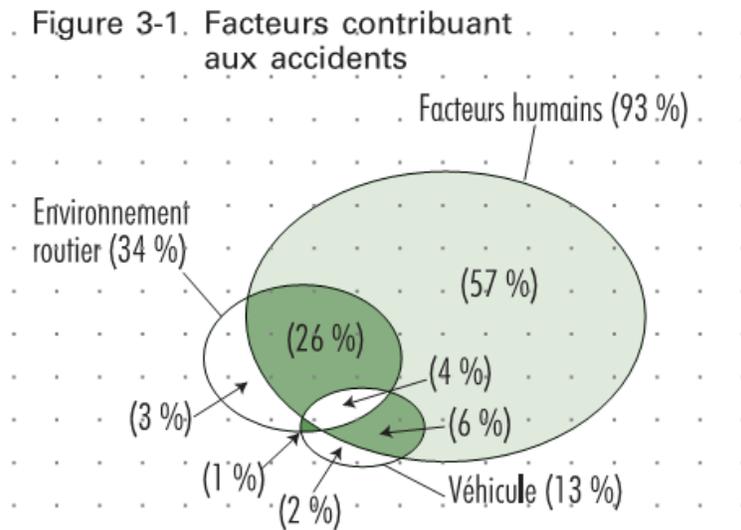
- Avoir une vue d'ensemble du problème de la vitesse en milieu urbain et ses effets
- Avoir une vue d'ensemble des approches possibles pour maîtriser la vitesse et en particulier la conception des infrastructures
- Déterminer les principaux facteurs d'influence de la vitesse sur les artères urbaines et suburbaines à l'aide d'une synthèse:
 - 1) de l'approche théorique utilisée pour la conception des routes et;
 - 2) de l'approche empirique utilisée pour la simulation des vitesses de marche.
- Présenter les meilleures pratiques de classe mondiale en conception routière pour maîtriser les vitesses sur les voies urbaines

Portée

On sait que les facteurs humains (un comportement inapproprié des usagers de la route) sont la cause la plus importante des accidents de la route. Selon l'AIPCR, l'environnement routier est le second facteur contributif le plus important aux accidents (34%). Selon l'OMS, la vitesse, considérée comme le deuxième facteur le plus important après l'alcool pour la survenue de collision, est un problème généralisé à la majorité des usagers de la route et non seulement réservé à un petit groupe délinquant¹. Un des facteurs clés de succès permettant de prévenir et de réduire les accidents de la route est une

¹ Institut national de la santé publique du Québec, LA VITESSE AU VOLANT : SON IMPACT SUR LA SANTÉ ET DES MESURES POUR Y REMÉDIER, SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES, DIRECTION DÉVELOPPEMENT DES INDIVIDUS ET DES COMMUNAUTÉS, NOVEMBRE 2005

approche systémique qui tient compte des facteurs contributifs, des groupes de conducteurs cibles et des différentes stratégies d'intervention.



Source : AIPCR, Manuel de sécurité routière, 2003

Il existe plusieurs modèles d'intervention en sécurité routière dont le fameux 3^E (Engineering, Education & Enforcement) bien connu des ingénieurs. La Table Québécoise de la sécurité routière du Québec² utilise la matrice de Haddon et divise les interventions sur quatre facteurs que sont l'humain, le véhicule, l'environnement routier et l'environnement socio-économique. Les stratégies utilisées peuvent viser la conception routière, l'éducation-sensibilisation, le règlementation et contrôle, les nouvelles technologies, etc. Le présent article traite essentiellement des interventions qui visent à améliorer la conception de l'environnement routier en milieu urbain tel que décrit dans le tableau ci-dessous :

	Portée de l'article	Non inclus
Milieu	Urbain et suburbain	rural
Classification fonctionnelle	Artères et collectrices	- Autoroutes, routes express artères stratégique - collectrices de quartier et rues locales
Vitesses limites affichées	40 km/h, 50 km/h et 60 km/h	70 km/h et plus 30 km/h et moins
Vitesses de marche moyenne	45 à 65 km/h	Haute vitesse ≥ 70 km/h Basse vitesse ≤ 40 km/h
Typologie / aménagement	Tous types : boulevard, avenues, etc.	Zone 30, Zone de rencontre (20 km/h), aire piétonne

Toutes les mesures d'apaisement ou de modération de la circulation (« Traffic Calming ») sur les rues locales ne sont pas traitées.

² TQSC, Premier rapport de recommandations de la Table québécoise de la sécurité routière, Juin 2007

2. Le problème de la vitesse en milieu urbain

2.1 Le milieu municipal : un rôle majeur

Les municipalités assurent la gestion de 80 % du réseau routier du Québec, tandis que le Ministère des Transport gère les 20 % restants. Le poids du milieu urbain dans le bilan des accidents au Québec est très important :

- Au total plus de 65% de tous les accidents se produisent sur le réseau municipal;
- plus de 50% des accidents corporels ont lieu sur les routes et rues où la limite de vitesses est de 60 km/h ou moins.

Le réseau municipal regroupe ainsi les deux tiers de tous les accidents; toutefois les accidents mortels sont plus nombreux sur le réseau du Ministère des Transport du Québec, où les vitesses et les débits de circulation sont généralement plus élevés.

Tableau 6
Répartition des accidents par gravité selon le réseau routier
(2001-2006)

Réseau	Accidents				
	Mortels	Graves	Légers	DMS*	Total
Municipal	41 %	54 %	63 %	66 %	65 %
MTQ	59 %	46 %	37 %	34 %	35 %
Total	100 %				

* DMS.: Dommages matériels seulement

Source : Table Québécoise de la sécurité routière, Premier rapport, juin 2007

2.2 La vitesse au volant et les accidents

La vitesse au volant est l'une des principales causes d'accidents au Québec, au Canada et dans le monde. Selon l'ONU, la vitesse excessive est à l'origine, selon les pays, de 30% à 50% des accidents mortels.

Québec (Source TQSC)	Canada (Source Transport Canada ³)
Entre 2002 et 2006, la vitesse est mentionnée pour 37% des accidents mortels, 31% des blessés graves et 22% des blessés légers.	Entre 2002 et 2004, la vitesse est responsable de 25% des décès sur les routes et 20% des blessés graves.
Ces accidents liés à la vitesse génèrent en moyenne 250 décès chaque année au Québec.	Entre 2002 et 2004 plus de 700 personnes par année sont décédées sur les routes au Canada. En 2005, la vitesse est en cause dans 850 décès ⁴ .

³ Transport Canada, *A Quick Look at Speeding Crashes in Canada - Fact Sheet*, TP 2436E, RS-2008-07, June 2008

⁴ Canadian Traffic Safety Institute, *Road Safety Vision 2010 – Mid-Term Review*, July 2007, page 105

Au Québec, sur le réseau municipal en milieu urbain, la vitesse est en cause dans⁵:

- 22% des accidents mortels
- 8% des accidents corporels

Sur le réseau municipal au Québec, les accidents mortels et graves se produisent :⁶

- Grandes municipalités : 75% dans des zones de vitesse 60 km/h et - ;
- Moyennes municipalités : 60% dans les zones de 60 km/h et -
- Petites municipalités : 60% dans les zones de 70 km/h et +

En milieu urbain, le dépassement des vitesses est un comportement de masse : plus de 1 personne sur 2 dépasse la limite de vitesse en milieu urbain (50 km/h)^{2,7}.

2.3 Impacts de la vitesse pratiquée en milieu urbain sur la sécurité

Les effets de la vitesse sont nombreux et se retrouvent sur la sécurité, l'environnement, l'économie et les territoires. De nombreuses études ont confirmé les effets négatifs de l'augmentation de la vitesse sur la sécurité routière. Examinons les principaux impacts. Deux dimensions physiques entrent en jeu : l'une, **l'énergie** joue sur la gravité des accidents et l'autre, **le temps**, joue sur la fréquence des accidents.

- 1) **Vitesse et risque d'accident** : en milieu urbain, la « règle du pouce » est que le risque d'être impliqué dans un accident double à chaque augmentation de 5 kilomètres/heure au de-là de la vitesse permise⁸. Une étude du professeur Gou⁹ de l'école Polytechnique de Montréal sur des données d'accidents à Montréal a démontré que le risque relatif d'être impliqué dans une collision grave ou mortelle augmente très rapidement avec chaque tranche de 10 km/h de vitesse supérieure à la limite légale. Ainsi le « risque relatif » d'accident double si on circule à 60 km/h au lieu de 50 km/h et est multiplié par 7 si on circule à 70 km/h. Cette même étude a démontré que si les conducteurs des véhicules accidentés avaient respecté la limite de 50 km/h, il y aurait eu une diminution de 44 % de l'ensemble des collisions, soit une diminution de 83 % des collisions frontales, de 33 % des collisions latérales et de 23 % des collisions avec piétons. Les auteurs recommandent de renforcer l'application de la limite de 50 km/h en milieu urbain, de réaliser des campagnes visant l'amélioration des comportements des piétons et d'encourager les manufacturiers à améliorer le design des véhicules.

⁵ Des Rivières Marc, *Les nouvelles responsabilités des municipalités en matière de limites de vitesse: enjeux et perspectives*, Colloque de l'AQTR, 27 novembre 2008

⁶ POULIN Hélène, Direction de la sécurité en transport MTQ, *Accidents et réseau routier*, Colloque AQTR, le 22 novembre 2007

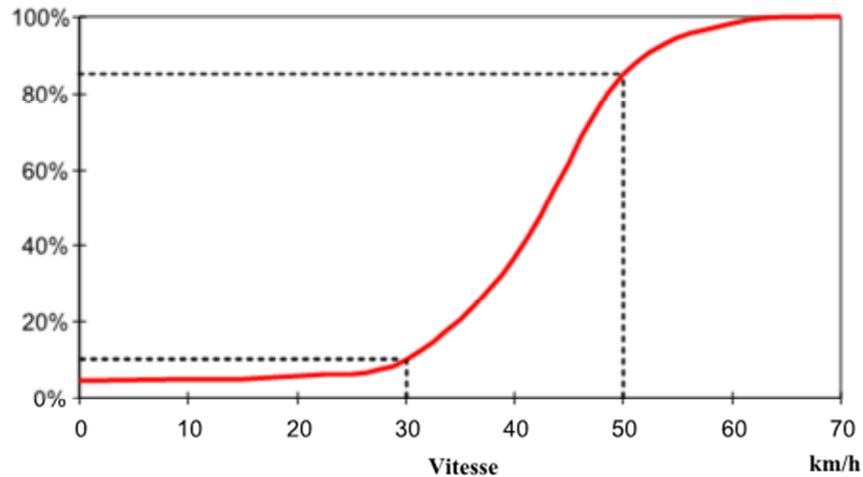
⁷ Harbour John, Président directeur général SAAQ, *Combien de vies perdues pour quelques minutes gagnées?*, AQTR Québec, le 16 novembre 2006

⁸ De Koninck Jean-Marie, Président de la Table québécoise de la sécurité routière, *Vers un meilleur contrôle de la vitesse sur nos routes*, AQTR, 16 novembre 2006

⁹ Gou, M., Clément, B. et Bellavigna-Ladoux, O. (2003) Incidence de la vitesse sur le risque d'être impliqué dans une collision grave ou mortelle en milieu urbain, Projet 00-SR-70842, École Polytechnique de Montréal, 90 p.

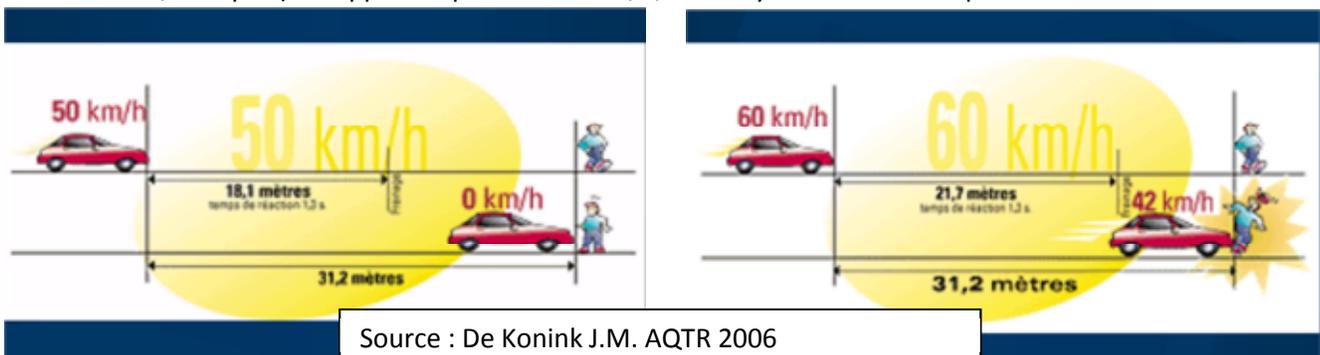
- 2) **Impact de la vitesse sur la gravité des accidents** : le risque de décès d'un piéton augmente rapidement avec la vitesse. Selon un document de l'OCDE¹⁰, le risque pour un piéton d'être tué lors d'une collision est de 80% à 50 km/h et de 10% à une vitesse d'impact de 30 km/h tel qu'illustré à la figure ci-dessous.

Figure 5. Probabilité de blessures mortelles pour un piéton heurté par un véhicule



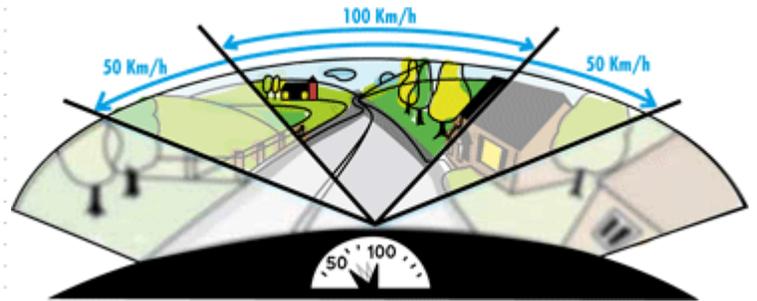
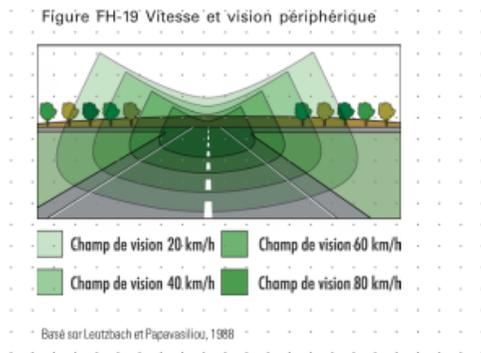
Selon l'étude MASTER (6 pays d'Europe), le risque mortel pour le piéton augmente rapidement avec la vitesse d'impact de la voiture, par exemple par un facteur de 2,5 quand la vitesse d'impact augmente de 40 à 50 km/h. (MASTER, Rapport Final, 1998).

- 3) **Impact de la vitesse sur la distance d'arrêt** : la vitesse augmente la distance d'arrêt qui est égale à la distance de réaction plus la distance de freinage. Le temps de réaction du conducteur face à un événement imprévu est de 1 à 2 secondes. À 50 km/h une automobile parcourt 18 m (ou 60 pieds) en 1,3 secondes avant de commencer à freiner. Si on circule à 50 km/h est qu'un piéton est à 31,2 m, l'automobiliste pourra s'arrêter à temps. Mais si il roule à 60 km/h (seulement 10 km/h de plus) il frappera le piéton à 42 km/h, donc il y aura 40% de risque de décès.



¹⁰ OCDE/CEMT, La gestion de la vitesse – Document de synthèse, 92-821-0379-X, 2007

- 4) **Vitesse et champ de vision du conducteur** : plus on roule vite plus la perception visuelle diminue : le champ visuel est de 100° à 40 km/h mais que de 75° à 70 km/h et 45° à 100 km/h.



Source : AIPCR Manuel de sécurité routière

Source : SAAQ

5) **Concentration des accidents en milieu urbain :**

En milieu urbain, on dit en général que environs la moitié des accidents se produisent aux carrefours. En Europe, selon les pays cette proportion varie de 40% à 60%.¹¹ En France 41% des accidents en agglomération se produisent aux intersections¹². Au Canada¹³, près de 30% des décès causés par des accidents routiers et plus de 40% des blessés graves se produisent aux carrefours. Au Québec, selon la TQSC cette proportion atteint 60%.

Selon le Certu, en ville les accumulations d'accidents s'observent surtout sur les axes principaux fortement circulés : globalement 50% des accidents se produisent sur 10% à 20% des voies.

¹¹ Safety Net, eurso.eu

¹² Certu, Carrefours urbains, 1999

¹³ Transport Canada, *A Quick Look at Intersection Crashes in Canada -Fact Sheet* TP 2436E, RS-2008-06, May 2008

3. Principes de cohérence pour maîtriser les vitesses sur les voies urbaines

Il est connu que le choix de la vitesse des usagers n'est pas basé uniquement sur la limite de vitesse affichée mais plus sur la perception par le conducteur des repères dans leur environnement visible et sur sa perception de la catégorie de route. Donc une conception cohérente de l'environnement routier devrait idéalement conduire les conducteurs à choisir leur vitesse, à avoir une tâche de conduite adéquate et à avoir des attentes plus en adéquation avec ce qui est considéré approprié dans les circonstances.

La cohérence de l'environnement routier se décline en 3 dimensions de cohérence : la cohérence d'ensemble de l'environnement routier, la cohérence des vitesses et la cohérence de la conception géométrique.

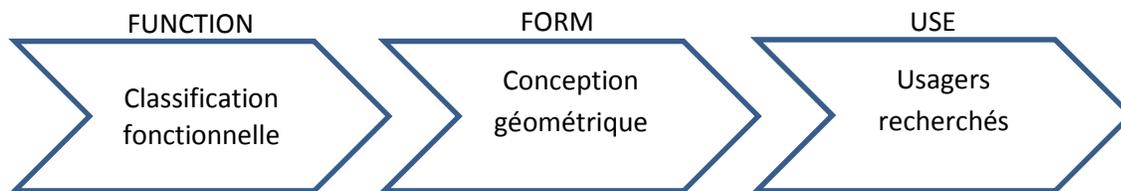
3.1 Cohérence d'ensemble de l'environnement routier

Le conducteur adopte une vitesse qui répond à ses besoins de mobilité et de sécurité en traitant les informations contenues dans l'environnement routier dans lequel il circule. A ce niveau toutes les composantes de l'environnement routier devraient être cohérentes entre eux pour produire un comportement sécuritaire des usagers, i.e. qui respecte les capacités et les limites des conducteurs.

Pour qu'un environnement routier soit cohérent dans son ensemble, toutes ses composantes doivent être harmonisées :

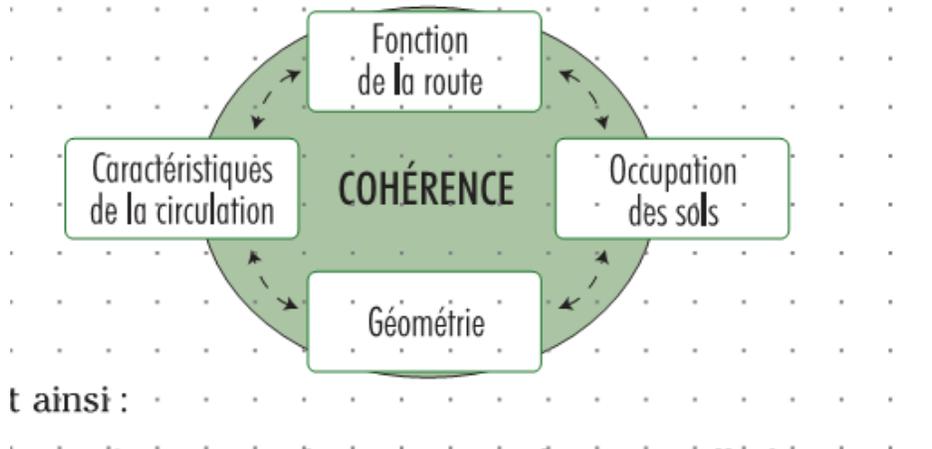
- Les caractéristiques de l'usage de la route (types d'usagers, débits, vitesses, etc.)
- Les paramètres d'exploitation (limite de vitesse, priorité aux carrefours, signalisation, etc.)
- La conception géométrique / les aménagements (tracé, profils, section en travers, etc.)
- La fonction de la route (mobilité, distribution, accès)
- L'utilisation du sol / le contexte (urbain dense, suburbain, etc.)

Cette cohérence d'ensemble est une extension du concept de RUFF (Road Use Form and Function)



et du concept de cohérence globale de l'environnement routier présenté dans le Manuel de Sécurité routière de l'AIPCR.

Figure 6-A2 Cohérence de l'environnement routier



Source : AIPCR, Manuel de sécurité routière, 2003

3.2 Cohérence des vitesses (conception / marche / limite affichée) pour la conception des infrastructures routières urbaines

La méthode classique de fixer *la vitesse de conception* (ou vitesse de base ou de référence) en Amérique du nord est d'assurer une logique par rapport à la classification fonctionnelle de la route, à la topographie et à l'utilisation du sol adjacente (rural ou urbain). Au Québec, la vitesse de base est encore aujourd'hui établie à la vitesse limite affichée plus 10 km/h¹⁴.

Il y a plusieurs différences dans le concept de *vitesse de conception* appliquée à la conception géométrique des routes au Canada et d'autres pays (sauf pour les États-Unis). Tandis que États-Unis continue d'adhérer à la notion de vitesse de conception classique, plusieurs pays comme l'Australie, l'Allemagne, la Suisse, la Grande-Bretagne, la France et la Suède ont renforcé l'utilisation de la vitesse de conception en intégrant la prise en compte explicite du comportement du conducteur en intégrant le critère de la vitesse de marche moyenne (85ième percentile). Bien que les détails spécifiques varient, ces pays ont inclus également une boucle de rétroaction dans leurs procédures de conception du tracé pour identifier et résoudre les incohérences de la vitesse de marche.

Depuis la mise à jour du Guide Canadien de conception géométrique des routes (ATC) en 2007, cette boucle de rétroaction fait maintenant partie du guide canadien. Aux États-Unis, *la vitesse de marche anticipée* fait maintenant partie des critères énumérés par l'AASHTO.

¹⁴ Transports Québec, Normes Ouvrages Routier, Tome I – Conception des routes, chapitre 1 Classification fonctionnelle, page I.1.5

En général, le concepteur fixe de façon explicite la vitesse de conception au début du processus. Par contre, la vitesse de conception inférée est déterminée de façon implicite (mais généralement non calculée) lors de la conception détaillée de la géométrie routière. Puisque les concepteurs sont encouragés à dépasser les critères minimaux de conception, il en résulte que la vitesse de conception inférée dépasse souvent la vitesse de conception (de base). La figure suivante illustre ce processus.

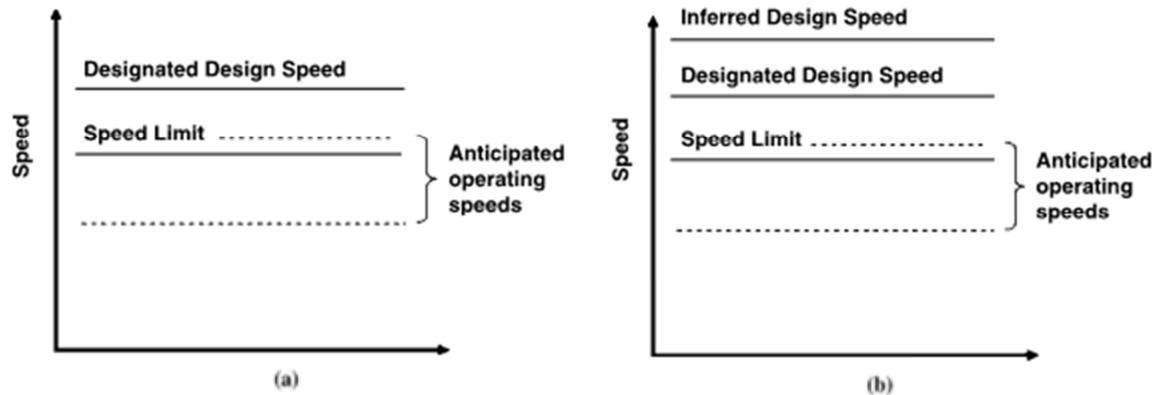
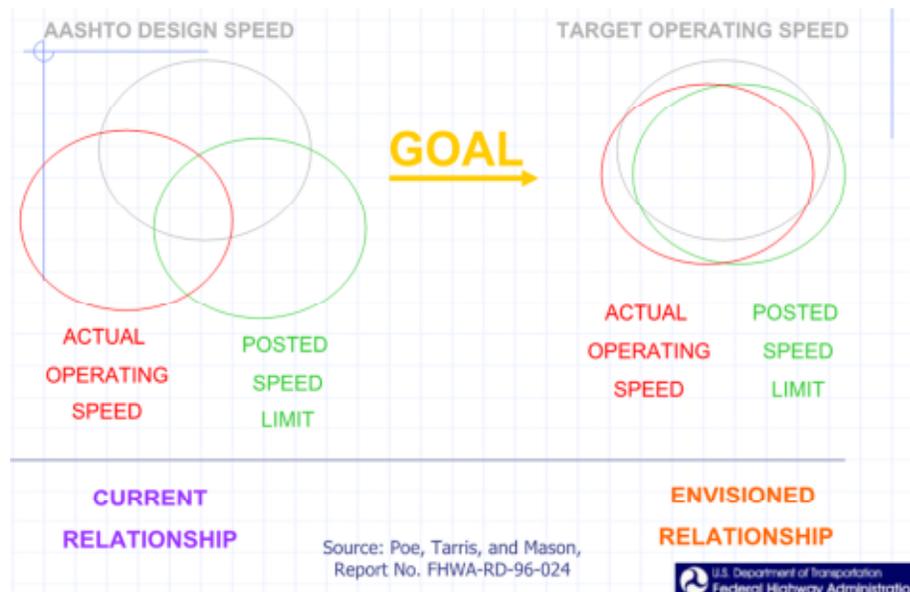


FIGURE 1 Speed relationships contemplated by design process: (a) conceptually ideal and (b) typical.

Source: Understanding Speed Concepts - Key Definitions and Case Study Examples, Eric T. Donnell, Scott C. Himes, Kevin M. Mahoney, and Richard J. Porter, TRB, TRR 2420, 2009

Ainsi, la méthode classique de déterminer la vitesse de conception ne garantit pas la cohérence des vitesses. Les incohérences entre la vitesse de conception, les vitesses limites affichées et les vitesses de marche, parce qu'elles entraînent une plus grande dispersion des vitesses, sont un facteur contributif du risque de collision (Poe et al, TRB 1998). L'approche de la vitesse de marche souhaitée (ciblée) (« target operating speed ») utilisée en Europe depuis plus une vingtaine d'année a été adoptée par l'ATC en 2007 est maintenant considérée par le FHWA. L'objectif du nouveau concept de vitesse de conception est que la vitesse de marche moyenne (« operating speed ») **soit cohérente** avec la classification fonctionnelle recherchée et également favorable à la mobilité et la sécurité. Ce concept est nommé « harmonie des vitesses » vitesse de marche souhaitée (ciblée) / vitesse de marche réelle moyenne / vitesse limite affichée et est illustré à la figure ci-dessous.



Choix de la vitesse de conception / vitesse de marche souhaitée (ciblée) pour les voies urbaines

La boucle de rétroaction pour le choix de la vitesse de conception est applicable en milieu rural et sur les routes à vitesse élevées (70 km/h et +). Cependant, en milieu urbain cette méthode ne s'applique pas. On sait qu'en général le conducteur adapte sa vitesse selon les caractéristiques de la route. En milieu urbain, la vitesse est modérée lorsqu'il y a plusieurs points de conflit liés à l'activité humaine. Si on éloigne les points de conflit, et le champ de vision du conducteur est alors dégagé, cela l'incite à circuler à une vitesse plus élevée. Il semble alors possible d'établir la vitesse de circulation souhaitée au moyen d'un réaménagement des abords de route. Toutefois, cela implique d'inverser la procédure de conception routière classique, à savoir d'établir la vitesse de conception pour ensuite déterminer les normes appropriées.

En milieu urbain le choix de la vitesse (de marche) souhaitée est un choix du concepteur en fonction de la fonctionnalité recherchée et de tous les usagers de la route (piétons, cyclistes, usagers des transports collectifs, etc.), pas seulement les automobilistes. En effet, contrairement au milieu rural, déterminer une vitesse de conception (de base) la plus élevée possible n'est pas l'objectif à atteindre mais, choisir une vitesse souhaitée (cible) qui permet la cohabitation de la vie locale et la circulation.

TAC – Guide canadien de conception routière des routes (1999)

Le GCCRR recommande que la vitesse de conception des voies urbaines prenne en compte tous les usagers incluant les modes actifs et les usagers des transports collectifs. Le choix de la vitesse de conception doit prendre en compte la classification fonctionnelle recherchée et les besoins des usagers anticipés. Le choix doit également prendre en compte les contraintes socio-économiques ainsi que les impacts sociaux, environnementaux et esthétiques. Enfin le choix de la vitesse de conception doit être cohérent avec les attentes des conducteurs le long de la voie. Les conditions à prendre en compte à cet égard incluent l'utilisation du sol adjacente, l'espacement des carrefours, les accès riverains ainsi que les activités des usagers vulnérables.

ITE - Design Walkable Urban Thoroughfare - A Context Sensitive Approach ¹⁵

En milieu urbain la vitesse marche souhaitée ou ciblée (« Target speed ») est la vitesse la plus élevée à laquelle devraient circuler les véhicules sur une voie urbaine, dans un milieu (contexte) particulier, en cohérence avec le niveau de déplacements multimodaux générés par les utilisations du sol limitrophes afin de permettre à la fois la mobilité souhaitée pour les véhicules et un environnement sécuritaire pour les modes actifs. La vitesse de marche souhaitée (ciblée) est établie en prenant en compte de :

- La classification fonctionnelle;
- Le type de voie urbaine (rue, avenue, boulevard, etc.);
- Le milieu (zone de contexte) incluant si l'utilisation du sol prédominante est résidentielle ou commerciale;

¹⁵ ITE, Design Walkable Urban Thoroughfare - A Context Sensitive Approach, ITE, RP-036A, 2010

Le tableau ci-dessous fait la synthèse des facteurs à prendre en compte pour établir la vitesse de conception/la vitesse de marche souhaitée (ciblée) sur les voies urbaines.

ATC	ITE
tous les usagers incluant les modes actifs et les usagers des transports collectifs	en cohérence avec le niveau de déplacements multimodaux générés
la classification fonctionnelle recherchée	La classification fonctionnelle
les besoins des usagers anticipés	afin de permettre à la fois la mobilité souhaitée pour les véhicules et un environnement sécuritaire pour les modes actifs
l'utilisation du sol adjacente	Le milieu urbain (zone de contexte) incluant si l'utilisation du sol prédominante est résidentielle ou commerciale
les activités des usagers vulnérables.	Environnement favorable aux piétons (walkable)
	Le type de voie urbaine : rue, ave., boulevard, etc.
l'espacement des carrefours	
les accès riverains	
les contraintes socio-économiques ainsi que les impacts sociaux, environnementaux et esthétiques.	

En conclusion, le choix d'une vitesse de conception adaptée en milieu urbain en harmonie avec les vitesses de marche et les vitesses limites aura pour effet d'augmenter la crédibilité des limites de vitesse, ceci étant un incitatif au respect volontaire.

3.3 Cohérence de la conception géométrique (« design consistency »)

Pour rendre l'infrastructure routière plus sûre, il est nécessaire de s'intéresser à ses caractéristiques techniques, à son interaction avec le conducteur ou le véhicule, à la lisibilité de la route et à l'homogénéité de l'itinéraire de façon à réduire ou éliminer les incertitudes et l'inattendu pour les conducteurs, donc de ne pas briser leurs attentes. La cohérence des éléments de la conception géométrique est une façon importante pour atteindre cet objectif. On sait par exemple qu'une combinaison correcte et cohérence du tracé horizontal et vertical favorise une vitesse uniforme et contribue ainsi à la sécurité.

Dans la littérature et dans le GCCGR de l'ATC trois principes par lesquels les concepteurs peuvent évaluer la cohérence de la conception d'une route sont généralement reconnu :

- La cohérence du profil en travers (aussi nommé en français « cohérence des caractéristiques de le route le long de l'itinéraire » (AIPCR) et « homogénéité et cohérence d'un tronçon de route » (MTQ) et « design continuity » (Pays-Bas))
- La cohérence des vitesses pratiquées et
- La charge de travail du conducteur

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer la cohérence de la conception mais la méthode la plus couramment utilisée pour évaluer la cohérence de la conception d'une route a été développée par Lamm et al. (1999) basée sur les taux d'accidents moyens. Ils ont présenté deux indicateurs de la cohérence de la conception liés à la vitesse de marche, qui comprennent 1) la différence entre la vitesse de conception (design speed) et de marche (operating speed) et 2) la différence entre les vitesses de marche sur des éléments successifs.

La différence entre la vitesse de marche et la vitesse de conception ($V_{85}-V_c$) est un bon indicateur de l'incohérence d'un élément de la route spécifique, tandis que la réduction de vitesse de marche (ΔV_{85}) entre deux éléments successifs indique l'incohérence vécue par les conducteurs lorsqu'il circule d'un élément à l'autre. Le tableau ci-dessous, présente les seuils de cohérence pour les critères I et II.

Table 1. Thresholds for a determination of design consistency quality. Lamm's criteria I & II.

Consistency rating	Criterion I (km/h)	Criterion II (km/h)
Good	$ v_{85} - v_d \leq 10$	$ v_{85_i} - v_{85_{i+1}} \leq 10$
Fair	$10 < v_{85} - v_d \leq 20$	$10 < v_{85_i} - v_{85_{i+1}} \leq 20$
Poor	$ v_{85} - v_d > 20$	$ v_{85_i} - v_{85_{i+1}} > 20$

La figure suivante indique comme est comparée la vitesse de marche sur des éléments successifs avec la vitesse de conception (design speed) et la vitesse de conception inférée (par les éléments individuels).

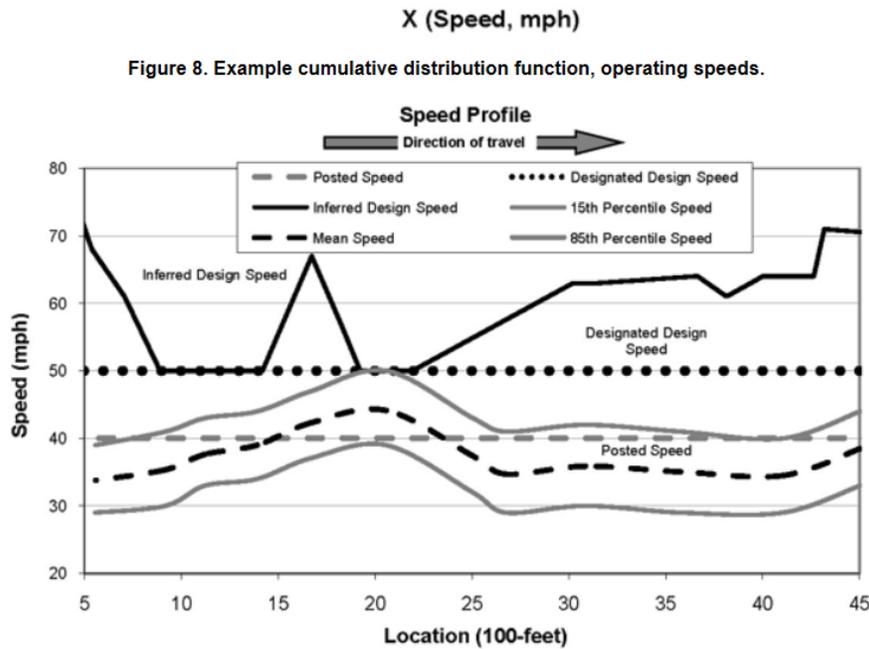


Figure 9. Example speed profile. Source: FHWA, Speed Concepts: Informational Guide, 2009

Il importe de noter que la plus part des recherches sur la cohérence de la conception sont basées sur les routes rurales à deux voies. Le présent article propose une application et une adaptation de ce concept aux voies urbaines.

3.3.1 Cohérence du profil en travers ou homogénéité de long de l'axe

L'homogénéité de la conception de l'infrastructure le long d'un axe a pour but d'éliminer les changements brusques des caractéristiques géométriques, pour ne pas surprendre les conducteurs (ne correspond pas à ses attentes) et ainsi prévenir des manœuvres inappropriés ou dangereuses qui sont des risques d'accidents. Lorsque les caractéristiques de la voie ne peuvent pas être homogènes sur l'ensemble de l'axe, il faut alors mettre des mesures (perspective visuelle, signalisation, etc.) visant à aviser les usagers qu'ils approchaient d'une discontinuité importantes qui peuvent tromper les attentes, voire la vigilance des conducteurs.

Le caractère homogène ou hétérogène de la séquence (section d'itinéraire caractérisée par une unité d'ambiance ou de paysage) est un **indicateur du niveau de complexité de la lisibilité globale** de l'itinéraire. ... Cette analyse du caractère homogène ou hétérogène de la séquence permettra de détecter les lieux où le conducteur risquera d'être prise en défaut ou surpris par une situation particulière comme inactivité isolée ou un lieu-dit par exemple.¹⁶

D'autres aspects ont un impact sur la perception des usagers et donc sur leur comportement. Ils peuvent être regroupés sous la dénomination « caractéristiques visuelles de l'environnement routier du point de vue du conducteur. Ils renvoient essentiellement à l'organisation du bâti, sa continuité, sa densité, la largeur des voies, au maillage du réseau et à la densité des intersections¹⁷.

Le parcours de l'itinéraire avec le regard de l'utilisateur permet de repérer les éléments d'incohérence de l'itinéraire : signalisation, influence de la route et de son environnement sur le comportement des usages. ... En agglomération, le repérage est limité aux thèmes suivants : signalisation, exploitation, profil en travers et obstacles¹⁸. Les éléments d'incohérences en traversée d'agglomération sont :

- Signalisation ou marquage inadaptée, non-conforme, incohérent ou inutile;
- Ambiguïté entre les priorités des voies spécialisées et la voie de circulation générale;
- Ambiguïté dans le régime de priorité de l'axe
- Trop grande distance entre les carrefours (200m)
- Discordance entre la perception des différents usages et la géométrie (ex. piste ou bande cyclable, zone de transition autoroute à voie urbaine ou 70 km/h à 50 km/h)
- Voies trop larges et inadaptées au type de trafic et au contexte urbain ou voies spécialisées de largeur inadaptée au type d'usagers concernés;
- Obstacles éventuels existants (à moins de 1 m de la rive)

Une liste d'éléments d'incohérence ou d'hétérogénéité le long d'un axe urbain, basés sur la revue de littérature, est proposée dans le tableau suivant.

¹⁶ Sétra, Évaluation du risque routier par l'analyse de la lisibilité de la route, juillet 2009

¹⁷ PREDIT, Aménagement et sécurité routière – Analyse Bibliographique – Décembre 2004

¹⁸ Sétra, Collection « Les outils », Démarche Sure – Diagnostic de l'itinéraire et piste d'actions – Guide méthodologique, octobre 2006

Exemples d'hétérogénéité dans la conception (discontinuité, incohérence, changement soudain dans la configuration)	
Hétérogénéités – milieu rural (ATC et MTQ)	Hétérogénéités – milieu urbain (Sétra et ITE)
<ul style="list-style-type: none"> • Bretelles tangentielles • Ponts étroits • Poteaux d'utilités publiques • Largeur de la chaussée et des accotements • Profil vertical à l'approche d'une intersection, un pont, une courbe serrée, une zone scolaire, etc. • L'uniformité du devers en travers de chaussée • Etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Types d'utilisateurs probables (piétons, cyclistes, camions, transport collectif) • Type de voie (ex. boulevard à avenue ou début d'une VVG2S, etc.) • Abandon d'une voie de circulation • Début d'un stationnement sur rue (perte de voie) • Aménagement de l'espace public (trottoir, banquette, végétal, mobilier, éclairage, etc.) • Priorité aux carrefours (feux vs arrêts) • Espacement entre les carrefours • Zones de transition de vitesse

3.3.2 Cohérence des vitesses de marche

Pour la cohérence des vitesses de marche une revue de littérature de plus de 50 articles de 1990 à 2010 a été réalisée. Les recherches se sont divisées en deux thèmes :

- Les éléments de conception qui sont mentionnés dans les manuels et les articles (approche théorique)
- Les modèles de simulation des vitesses de marche sur les voies urbaines et suburbaines (approche empirique)

Pour chaque thème une méta-analyse a permis de dégager les facteurs déterminants la vitesse qui sont communs à plus de trois(3) documents/études dans chaque cas.

1) Éléments de conception qui influencent la vitesse de marche (approche théorique)

Les caractéristiques physiques de la route et de son environnement est un des facteurs qui influence la vitesse des véhicules. Lors de la conception d'une route, les caractéristiques et les dimensions choisies doivent être appropriées à la vitesse de déplacement. La relation entre les éléments de conception et la vitesse de marche est bien documentée pour les routes rurales et les autoroutes. Pour les routes urbaines et suburbaines nous avons répertorié les principales références. Canadienne, américaine et européenne. Sept(7) références ont été analysées et compilées dont l'ATC, le MTQ, le NCHRP 504 etc. Les paragraphes qui suivent en présente un résumé de quelques-unes.

MTQ, Tome I Conception Routière (2011)

Dans le Tome I de conception routière du MTQ, il est précisé que « les éléments favorables à une diminution de la vitesse sont¹⁹ » :

- une chaussée moins large;
- un tracé non rectiligne;
- des dégagements latéraux faibles;
- un bâti dense et rapproché;
- une animation importante.

OCDE

« ...les éléments de la conception des infrastructures, **comme les distances de visibilité, l'espacement entre les carrefours et la largeur des voies**. Cela contribue à des routes sûres et « lisibles », permettant au conducteur de reconnaître rapidement le type de route sur lequel il est, et d'adapter sa vitesse aux conditions locales. »²⁰

France

En France les outils d'aménagement pour permettre la maîtriser les vitesses des véhicules en agglomération sont maintenant bien connues et largement utilisées²¹. Elles reposent sur quatre volets principaux :

- **La structuration de l'espace** (organisation de l'espace et des bâtiments et sur le plan des activités et des pratiques) pour en faciliter la lisibilité et inciter les usagers à adapter leur vitesse en fonction de l'environnement;
- **La réduction de la largeur des voies de circulation;**
- **Le traitement des trajectoires** : chicanes et écluse, mini-giratoires, pastilles, etc.
- **La variation du profil en long** : ralentisseurs (incl. d'os d'âne), coussins, plateaux,...

Au niveau de la voie, quatre moyens principaux peuvent être mis en œuvre²² :

- La mise en place de carrefours à feux, qui permet à la fois de gérer les vitesses et les débits...
- La réduction de la largeur dévolue aux trafics automobiles au profit des autres usagers
- L'utilisation de l'effet paroi : présence d'une limite physique en bord de chaussée (bordure de trottoir, stationnement longitudinal,...)
- L'aménagement de l'environnement de la voie : paysage perçu par les différents usagers (végétation, bâti, perspectives, points de repères, séquence visuelles,...)

¹⁹ MTQ, Tome I Conception routière, Chapitre 4 Éléments de la route, page 6

²⁰ OCDE, La gestion de la vitesse – Document synthèse, 92-821-0379-X, © CEMT, 2007

²¹ Certu, Maîtrise des vitesses par l'aménagement, Fiche no 3, décembre 2008

²² Certu, Conception intégrée des opérations routières en milieu urbain – Manager la conception des projets routiers intégrés en milieu urbain, octobre 2006

Éléments de conception ayant une relation (directe ou limitée) avec la vitesse de marche																				
	Distance de visibilité d'arrêt	Rayon de courbure horinz.	pente verticale / terrain	Éliminer le devers	voie de dépassement	largeur de voie / route	bordure et cours d'eau	dégagement latéral	stationnement sur rue	combinaison rayon / long. Tangente	nombre de voies	type de terre-plein	densité des accès /nb	distance entre intersections	prox. Zones commerciales / bati dense et rapproché	présence d'activité piétonne	débits se circulation	Vitesse affichée	voie virage à gauche séparée	
Poe et Manson (1995)	X	X	X			X		X	X											
ATC GCGR (1999)						X					X	X			X		X	X		
HCM (2000)			X						X		X	X	X		X	X		X	X	
NCHRP 505 (2003)	L	X	X		X	L	L	X		L		X	X							
CERTU (2008)		X	X			X	X	X	X			X		X	X	X				
ITE (2010)		X	X	X		X		X	L			X	X	X	L	X		X		
MTQ (2011)		X				X		X							X	X				
	2	5	5		1	6	2	5	4	1	2	4	3	3	5	4		3	1	

2) Modèles de prévision de la vitesse de marche sur les artères (approche empirique)

Des modèles pour estimer la vitesse d'opération et les différences de vitesses basées sur les caractéristiques géométriques des routes ont été développés depuis les années 50' à travers le monde. Misaghi et Hassan(2005) listent dans un article plus de 25 modèles différents dont la majorité est pour les routes rurales à 2 voies. Ce n'est que depuis une quinzaine d'années que les chercheurs s'intéressent aux routes en milieu urbain. La présente étude fait une méta-analyse de 17 modèles pour les voies urbaines. Au Québec il existe une seule étude dont les résultats sont présentés ci-dessous.

Québec

Au Québec, très peu de recherches ont porté sur l'aménagement des abords de route et son impact sur la vitesse pratiquée, bien que le sujet ait été étudié à l'étranger. Une recherche de Lynda Bellalite, Ph.D. de l'université de Sherbrooke a permis de tirer les conclusions suivante. « La vitesse pratiquée au moment de la traversée d'une agglomération est déterminée par **la densité d'occupation au sol** (nombre de bâtiments dans la zone témoin), **l'emprise visuelle** (distance séparant la façade des bâtiments situés de part et d'autre de la route) et **la largeur du trottoir**. Ces trois facteurs présentés en ordre d'importance expliquent à 47,9 % le changement de vitesse d'un conducteur lorsqu'il entre dans une agglomération. ...Un milieu bâti où la perspective visuelle et le profil en travers sont étroits, où la charge de travail de l'utilisateur est élevée, contribue généralement à réduire la vitesse pratiquée. »²³

²³ MTQ, 2004-04-15 - L'aménagement des abords de route et son effet sur la vitesse pratiquée en traversée d'agglomération,

Éléments des modèles ayant une relation (directe ou limitée) avec la vitesse de marche																	
	Distance de visibilité d'arrêt	Rayon/dégré de courbure horinz	pen te verticale / terrain	largeur de voie / route	bordure et cours d'eau	dégagement latéral	stationnement sur rue	nombre de voies	type / présence de terre-plein	densité des accès / nb	distance entre intersections / nb	prox. Zones commerciales / batti dense et rapproché	présence d'activité piétonne / trottoir	Vitesse limite affichée	Classification fonctionnelle	Débits de circulation	R2
Poe et Manson (1995)		X	X	C		X				C	C						67
Tarris et la (1996)		X															63-82
Fitzpatrick et al (1997)		X								C							72
Wooldridge et Fitzpatrick (1999)						C			C	C							96
Bonneson (1999)		X															96
Poe et Manson (2000)		X		X		X											90-98
Fitzpatrick et al (2001)		X		C					X	X		X		X			53-75
NCHRP Report 504 (2003)							C		C	X			C	X			92
Bellatite (MTQ) (2003)				X	X	X						X	X				48%
Wang (2006)				X			X	X	X	C		C	X				95%
Aronsson K.F.M. (2006)								X					X		X	X	90%
Ali et al (2007)									X	C	X					X	
FHWA (2008)	C		X	X	X	X	X			C	X	X	X				
JHR 09-321 Project 04-6 (2009)							X					X		X			90%
nb	1	6	2	6	2	5	4	2	5	8	3	5	5	3	1	2	

3) Synthèse des éléments de conception (approche théorique) et des modèles de prévision de la vitesse de marche sur les artères (approche empirique)

Facteurs d'influences sur la vitesse de marche (d'opération) en milieu urbain

Éléments de conception	Facteurs d'influence directe – réduction de vitesse	Facteurs d'influence directe – augmentation de vitesse
Exploitation	<ul style="list-style-type: none"> Vitesse limite affichée 	
Conception géométrique <ul style="list-style-type: none"> Alignement horiz. Alignement vert. 	<ul style="list-style-type: none"> Degré de courbure / rayon horinz. 	
Section en travers	<ul style="list-style-type: none"> Niveau de risque / dégagement latéral 	<ul style="list-style-type: none"> présence de terre-plein Largeur de voie
Interactions avec les autres usagers : modes actifs, modes collectifs, stationnement	<ul style="list-style-type: none"> Présence de stationnement sur-rue Présence de trottoir / piétons 	
Milieu / zone de contexte	<ul style="list-style-type: none"> Densité des accès Distance entre intersections 	<ul style="list-style-type: none"> Zone de contexte (suburbain plus rapide)

En bleu : éléments probables communs à guides de conception et études empiriques

En noir : éléments possibles communs à guides de conception et études empiriques

Il est intéressant de noter que la moitié des facteurs probables se rapportent à la conception géométrique de l'infrastructure et l'autre moitié à la vie urbaine présente le long de cette voie.

4. Discussion

Les huit facteurs déterminants retenus ont été comparés avec les meilleures pratiques en Europe (Pays-Bas) et aux États-Unis.

Caractéristiques de la voie urbaine et son environnement	Diminution des vitesses	Augmentation des vitesses
Nombre de voies	Une seule voie par direction	Plusieurs voies avec bande médiane
Largeur des voies	Voies moins larges	Voies plus larges
Tracé horizontal	Segment droits courts	Segments droits longs
Surface de la chaussée	Chaussée non-unie	Chaussée unie
Priorité aux carrefours	Carrefours à niveau sans indication de priorité	Carrefours dénivelés
Contraintes physiques de limite de vitesse	Présence de dispositifs	Aucun dispositif
Infrastructure pour piéton	Partage de la voie avec les piétons	Piétons interdits
Infrastructure pour cycliste	Partage de la voie avec les cyclistes	Cyclistes interdits
Stationnement	Stationnement sur rue	Stationnement interdit
Densité de l'environnement routier	Végétation dense et densité du milieu bâti	Faible présence de végétation et milieu bâti peu dense

Source: Aarts et al., Safe speed and credible speed limits (SACREDSPEED): A new vision for decision making on speed management, TRB, 88th annual meeting, 2009

Combinaison de mesures pour atteindre la vitesse souhaitée (Target speed)
Réglage des feux de circulation à une vitesse de progression modérée
Utilisation de voies de circulation étroites
Utilisation de mesures physiques telles que des avancées de trottoir et médianes afin de réduire la chaussée;
Utilisation du stationnement sur rue pour créer le frottement latéral;
Peu ou pas de dégagement horizontal (cours d'eau) entre la voie de circulation et la bordure de la médiane
Élimination du dévers
Éliminer les accotements en milieu urbain, sauf pour les pistes cyclables;
petits rayons aux intersections et l'élimination ou la reconfiguration des îlots de canalisation de virage à droite
Pavage texturé (par exemple, les passages pour piétons, les zones d'intersection) détectables par les conducteurs comme un avertissement de la présence éventuelle de piétons
l'utilisation appropriée de la limite de vitesse, des panneaux de danger et d'autres dispositifs appropriés pour créer une transition graduelle de vitesse à l'approche et circuler à travers une zone où il y a présence de piétons
Autres facteurs largement admis pouvant influencer la vitesse
Une rangée d'arbres
L'emprise visuelle formée par la proximité du milieu bâti
Le marquage de lignes de rive
Le marquage de bande cyclable

Source: ITE, Design Walkable Urban Thoroughfare - A Context Sensitive Approach, ITE, RP-036A, 2010

En résumé, sept des huit facteurs identifiés par la méta-analyse passent le test des meilleures pratiques (sauf la densité des accès) et quatre autres facteurs sont considérés par les deux meilleurs pratiques. Une fois la vitesse de marche souhaitée (ciblée) déterminé par le concepteur, ces onze éléments peuvent être utilisés par le concepteur pour maîtriser la vitesse sur les voies urbaines.

Éléments communs à la méta-analyse et aux deux meilleures pratiques (EU & USA)	Éléments communs à la méta-analyse et à une des deux meilleures pratiques (EU & USA)	Éléments non identifiés par la méta-analyse mais commun aux deux meilleures pratiques (EU & USA)
<ul style="list-style-type: none"> • Tracé horizontal • Largeur des voies • Présence de terre-plein • Présence de stationnement sur-rue • Contexte urbain (densité du milieu bâti) 	<ul style="list-style-type: none"> • Présence de trottoir/piéton • Dégagement latéral : réduction du cours d'eau ou élimination de l'accotement 	<ul style="list-style-type: none"> • Présence de cyclistes • Surface de la chaussée non-unie /texturée • Présence de végétation / arbres • Dispositifs de contraintes physiques pour la vitesse

Il est très intéressant de noter que la baisse de la vitesse limite affichée ne ressort pas comme outil, ce qui est attendu étant donné qu'il est bien documenté que la baisse de la vitesse affichée (panneau seulement) s'avère inefficace sur la vitesse, notamment sur la moyenne et le 85^{ème} percentile.²⁴

Impact sur la sécurité

Le concepteur doit être conscient des impacts de la vitesse et de l'aménagement de la voie sur la sécurité. L'impact positif d'une mesure sur la vitesse peut cependant avoir un effet contre-productif sur la sécurité et vice-versa (voir tableau ci-dessous). Bien que certaines mesures puissent réduire la fréquence des collisions, une augmentation de la vitesse en augmentera la gravité. Et a contrario, certaines mesures en réduisant la vitesse augmenteront la fréquence des accidents mais en réduiront la gravité. Le concepteur doit donc travailler dans un domaine de conception complexe et faire des compromis qui prennent en compte la vitesse et la sécurité.

- Réduction de la vitesse + Augmentation des accidents	+ Augmentation de la vitesse - Réduction des accidents
<ul style="list-style-type: none"> • Pas de bande médiane • Augmentation du trafic • Plus grande densité des accès • 0 m ≥ cours d'eau < 0,5 m (1,5 ft) • Présence de stationnement sur-rue • Voie de circulation < 3,65 m (12 ft) • Bande médiane < 3,65 m (12 ft) • Distance des obstacles < 0,6 m (2ft) 	<ul style="list-style-type: none"> • Avec bande médiane • ≥ 2 voies de circulation • Densité des accès nulle ou faible • 0,5 m ≥ Cours d'eau < 1,5 m • Aucun stationnement sur rue • Voie de circulation ≥ 3,65 m (12 ft) • Bande médiane ≥ 3,65 m (12 ft) • Distance des obstacles ≥ 0,6 m (2ft)

²⁴ Bellalite Lynda, L'impact de l'abaissement de la limite de vitesse sur le comportement du conducteur et la sécurité, 2003

5. Conclusion

La revue de l'état des connaissances dans le domaine de la gestion de la vitesse en milieu urbain pour concevoir des routes plus humaines, sûres et crédibles pour les propriétaires d'infrastructures et les usagers qui les utilisent nous amène à recommander une approche intégrée comme suit :

1) Il est recommandé de bien identifier les besoins et de développer une vision claire du but recherché

Le point de départ pour obtenir des routes cohérentes en milieu urbain, il est essentiel que la conception des infrastructures soit adaptée à l'environnement de la route (le contexte urbain) et aux besoins de tous les usagers de la voie urbaine (automobilistes, camions lourds, véhicules de transport collectif, piétons, cyclistes, résidents, commerçants, etc.). Il faut être « *Context Sensitive* » et « *User Focused* ».

De plus, le but recherché pour la voie urbaine doit être clarifié dès le départ :

- la voie urbaine est pour la prédominance de la circulation (la mobilité) sur la vie urbaine;
- la voie urbaine cherche à être à échelle humaine (« walkable ») et concilier la mobilité et le milieu de vie de la voie.

2) Il est recommandé d'adopter les principes de la sécurité durable

Il s'agit d'adopter trois grands principes de la sécurité durable des Pays-Bas pour la conception des infrastructures routières : i) la mono-fonctionnalité des voies, ii) l'homogénéité des masses, vitesses et directions et iii) la lisibilité de la route.

Pour arriver à une cohérence d'ensemble il faut alors fixer les objectifs souhaités pour

- la fonctionnalité (mobilité/accès) et;
- la vitesse de marche souhaitée.

3) Il est recommandé de concevoir l'infrastructure en cohérence avec les besoins, la vision et les objectifs recherchés

Il est de proposer de concevoir un environnement routier, les caractéristiques de la voie et des aménagements adaptés (en se basant sur les facteurs déterminants la vitesse identifiés ci-haut) pour rendre crédible les limites de vitesse et inciter les conducteurs à modérer leur vitesse de marche.

Le processus de conception doit prendre en compte le continuum du domaine de conception et les impacts du concepteur sur la vitesse peuvent aussi avoir des impacts sur la sécurité, les coûts, etc.