



Synthèse sur le comportement des piétons en traversée de rue – partie 1 : état de l'art

Work Package	2
Responsable du WP, affiliation	<i>V.Ledoux (Cerema)</i>
Livrable n°	<i>L.2.5.b – partie</i>
Version	2
Auteur responsable du livrable	<i>Stéphanie Coeugnet</i>
Auteurs, affiliations	<i>Stéphanie Coeugnet, Jean-Louis Honeine, Séverine Malin, Gaétan Merlhiot (VEDECOM)</i>
Relecteurs, affiliations	<i>M.A Granié (IFSTTAR),</i>
Statut du livrable	<i>Final</i>

Veuillez citer ce document de cette façon :

Coeugnet, S. Honeine, JL, Merlhiot, G. (2019) Livrable L2.1. Synthèse sur le comportement piétons – partie 1 : état de l'art, version révisée, Projet SURCA

Historique des versions

Version	Date	Auteurs	Type des changements
V1	Sep. 2018	Coeugnet, Honeine, Malin	Coeugnet, Honeine, Malin
V2	Janvier 2020	Coeugnet, Merlhiot	Demande de révisions prises en compte + version 1 découpée en deux parties.

Remerciements

Le Projet SURCA est financé par la dévolution de la Fondation Sécurité Routière, la Délégation à la sécurité routière et pour moitié par les partenaires du projet.



Résumé du projet Surca

Les questions posées par la cohabitation de véhicules de plus en plus automatisés avec des véhicules conventionnels et des usagers vulnérables, cyclistes, piétons, deux-roues motorisés, sont au cœur des préoccupations des décideurs publics, constructeurs, ou spécialistes de l'infrastructure routière et de la sécurité routière. Tous ont l'espoir que ces nouvelles technologies contribuent à améliorer la sécurité routière. L'objectif global du projet « Sécurité des Usagers de la Route et Conduite Automatisées, SURCA » est de contribuer à une meilleure intégration de la Conduite Automatisée dans la circulation actuelle.

Les partenaires du projet (Ifsttar, DSR, Ceesar, Cerema, Vedecom, Lab), ont ainsi comme objectif d'identifier quelles interactions existent et quelles stratégies pertinentes sont mises en place par les conducteurs pour proposer des recommandations aux concepteurs de véhicules autonomes sur les besoins en termes d'interactions et en termes de comportement du véhicule autonome. Pour cela, il est prévu d'analyser des bases de données existantes sur la conduite des véhicules conventionnels et d'identifier les facteurs qui peuvent expliquer des comportements différents.

Les connaissances issues de ces bases seront utilisables pour simuler l'introduction de la conduite automatisée de niveaux 3, 4 et 5, avec des taux de pénétration faibles. La gestion des interactions avec les autres usagers doit être réalisée dès que le véhicule peut évoluer en autonomie sans supervision du conducteur, quelles que soient la durée et les sections sur lesquelles cette automatisation sera possible. En cas de taux de pénétration très important, d'autres types d'interactions risquent de se mettre en place et devront alors être étudiés.

Ce projet est articulé autour de deux sous-thématiques :

- L'identification des scénarios d'interaction entre véhicules autonomes et autres usagers de la route (véhicules conventionnels, deux roues motorisés, cyclistes, piétons), avec un focus particulier sur les personnes âgées :
 - Étude des situations de négociation où les conducteurs gèrent cette interaction humaine, à partir de bases de données de conduite conventionnelle, et en utilisant des éléments difficilement émis et perçus par les systèmes automatisés (regard, connaissance a priori d'intention, etc.),
 - Étude de la réaction des autres usagers face à un véhicule autonome alors que son conducteur est absorbé dans une tâche annexe,
 - Identification des besoins de communication du véhicule autonome en phase active avec les autres usagers,
 - Analyse des besoins des usagers âgés et acceptabilité sociétale du véhicule autonome.
- L'étude des impacts de la posture des occupants (conducteur et passagers) d'un véhicule en mode autonome sur le risque lésionnel :
 - Choix des scénarios de simulation : positions des occupants, conditions de choc (lors de la réalisation de tâches annexes) et systèmes de retenue,
 - Évaluation des lésions potentielles par simulations numériques en fonction des systèmes de retenue (par ex. déploiement d'air bag),
 - Recommandations en termes de postures acceptables selon les différents systèmes de retenue.

Résumé

Quel que soit le niveau d'automatisation, les véhicules autonomes seront mis sur le marché au sein d'un trafic mixte. Les véhicules autonomes devront être capables d'identifier et de comprendre le comportement des autres usagers avec lesquels ils interagiront.

Dans des environnements urbains, les interactions avec les piétons semblent être ce qu'il y a de plus complexe à appréhender, étant donné l'importance de la variabilité des comportements des piétons. En effet, la traversée de rue est une activité complexe, s'inscrivant dans un environnement dynamique. Elle peut en outre être dangereuse, d'une part, par la présence des véhicules pouvant augmenter le risque pour le piéton d'être percuté et d'autre part, du fait des comportements dangereux des piétons eux-mêmes, qu'ils soient volontaires ou liés à une estimation incorrecte de la situation de traversée.

L'activité de traverser de rue requiert de rechercher un site adapté, c'est-à-dire de regarder à la fois au bon endroit et au bon moment.

Plus précisément, la traversée de rue implique que le piéton analyse le trafic, combine les informations provenant de différents endroits, choisisse un gap (temps ou distance disponible entre deux véhicules) qui soit adapté et coordonne ses activités perceptives et motrices en fonction du trafic. Malgré cette complexité, il est nécessaire que le véhicule autonome soit capable de prédire les intentions des piétons de traverser la rue pour qu'il puisse faciliter l'interaction et ce, en modulant son comportement pour optimiser la sécurité et rester dans une logique d'économie énergétique.

Ce livrable vise à développer la littérature portant sur la traversée de rue afin de :

1. regrouper les connaissances actuelles ;
2. identifier les différents aspects à prendre en compte dans le contexte de la décision de traverser la rue, et
3. mettre en valeur les points manquants qui ont besoin d'être étudiés plus précisément dans le cadre de la future interaction avec le véhicule autonome.

La première partie détaillera la méthode de la revue de la littérature et les caractéristiques des études retenues. Une seconde partie précisera les différentes méthodes utilisées à la fois pour la collecte et les analyses de données. La dernière partie sera focalisée sur les différentes thématiques étudiées à propos de la prise de décision de traverser la rue. Finalement, nous résumerons plus de 20 ans d'études sur cette thématique ainsi que les éléments à affiner pour une meilleure compréhension de la prise de décision de traverser. Nous concluons sur les différentes pistes d'études à mener permettant de rendre les interactions plus sécurisées entre les piétons et le véhicule autonome.

Table des matières

1	MÉTHODE POUR LA SÉLECTION DE L’ÉTAT DE L’ART	8
1.1	LA SÉLECTION DES ÉTUDES	8
2	MÉTHODES UTILISÉES DANS LA LITTÉRATURE POUR ÉTUDIER LA TRAVERSÉE DE RUE	8
2.1	LES VARIABLES ÉTUDIÉES DANS LA LITTÉRATURE	8
2.2	LA RÉCOLTE DES DONNÉES ET LES ANALYSES	9
2.2.1	Méthodes d’observation	9
2.2.2	Méthodes utilisant un véhicule instrumenté	9
2.2.3	Méthodes de simulation.....	9
3	LES DIFFÉRENTS ÉLÉMENTS DE LA PRISE DE DÉCISION DE TRAVERSER	10
3.1	INDICATEURS PHYSIQUES ET BIOMÉCANIQUES	10
3.1.1	La marche	10
3.1.2	Les algorithmes de détection des intentions de traverser des piétons.....	12
3.2	L’ACCEPTATION DE GAP	13
3.2.1	Définition	13
3.2.2	Résultats	15
3.3	EFFET DE L’ENVIRONNEMENT ET INDICES VISUELS	17
3.3.1	L’environnement influence la prise de décision de traverser la rue	17
3.3.2	Les indices visuels pour la prise de décision de traverser	17
3.4	CARACTÉRISTIQUES SOCIALES ET INDIVIDUELLES	18
3.5	D’AUTRES ÉLÉMENTS DANS LA PRISE DE DÉCISION.....	19
4	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES (PARTIE 1 & 2).....	21

Table des tableaux

Aucune entrée de table des matières n'a été trouvée.

Table des figures

FIGURE N 1- REPRÉSENTATION D’UN GAP ENTRE DEUX VÉHICULES LORSQU’UN PIÉTON EST EN TRAIN D’ATTENDRE SUR LE TROTTOIR	13
FIGURE 2 : REPRÉSENTATION D’UN LAG ENTRE UN VÉHICULE ET UN PIÉTON QUI EST EN ENTRAIN D’ATTENDRE SUR LE TROTTOIR	14
FIGURE 3: EXEMPLE D’UNE FORME DE DISTRIBUTION DE L’ACCEPTATION DU GAP EN FONCTION DE SA TAILLE (DONNÉES FACTICES)	15

1 MÉTHODE POUR LA SÉLECTION DE L'ÉTAT DE L'ART

1.1 La sélection des études

La revue de la littérature effectuée au début du projet (2018) est focalisée sur des recherches traitant spécifiquement de la traversée de rue et la détection des indicateurs biomécaniques. Elle exclut donc celles qui sont plus génériquement liées à la navigation des piétons. Le critère de catégorisation pour la sélection des articles repose sur le type de méthodes utilisées pour la collecte des données et les thématiques associées. Conscient de l'impact culturel sur la prise de décision de traverser la rue et les différentes règles de circulation, l'origine des études a aussi été préservée. Un traitement plus fin a été ensuite réalisé en extrayant, lorsque cela était possible, des données quantitatives pour comparer les études entre elles. Au total, 147 études ont été sélectionnées (voir l'annexe 1 pour les références).

1.1.1.1 Classification des études sélectionnées

Les thématiques des études ont été classifiées en 7 catégories :

- L'acceptation de *gap* (« *gap acceptance* »),
- La prise de décision et les accidents de traversée de rue,
- Les caractéristiques sociales et individuelles,
- Les indices visuels et l'environnement,
- Les véhicules autonomes,
- La vitesse de marche et la capacité à marcher,
- L'estimation de l'intention de traverser des piétons à partir de leurs postures et mouvements

2 MÉTHODES UTILISÉES DANS LA LITTÉRATURE POUR ÉTUDIER LA TRAVERSÉE DE RUE

Cette revue de littérature n'est pas une méta-analyse mais repose sur une analyse des grandes thématiques.

Parmi les études sélectionnées, 37,23 % ont été réalisées en Europe, 23,40 % en Amérique du Nord, 14,89 % au Moyen-Orient, 11,7 % en Asie, 11,7 % en Océanie, 1,08 % en Amérique du Sud et aucune en Afrique.

Elles se distribuent entre 1995 et 2018 avec une augmentation du nombre de publications sur les dix dernières années ce qui peut s'expliquer par l'augmentation des études de sécurité routière chez le piéton du fait de l'augmentation de la mortalité de ces usagers vulnérables à travers le monde (plus de 270,000 par an; WHO, 2013).

2.1 Les variables étudiées dans la littérature

Dans ces études, un nombre important de facteurs a été analysé comme variable dépendante ou comme prédicteur pour la modélisation de la traversée de rue. Ces facteurs sont :

- l'acceptation de *gap*,
- la trajectoire et la direction,
- le choix du lieu de la traversée de rue,
- la circulation des piétons,

- Le Cédez le passage des véhicules aux autres usagers,
- l’intensité du trafic,
- le type de route (e.g., deux voies, « middle block », avec un îlot central, voies proches ou voies éloignées),
- les infrastructures pour les piétons (e.g., les signaux, le marquage au sol, les parkings avant et après la traversée des piétons, la largeur des trottoirs),
- Le type de marche (e.g., marcher, courir, lentement, rapidement),
- Le nombre de piétons,
- le temps d’attente,
- la vitesse du véhicule, time-to-arrival, time-to-collision, la durée de la traversée,
- les caractéristiques des piétons (e.g., l’âge, le genre, la vitesse de marche, la motivation),
- la position de la tête, la position du corps, la fréquence des regards,
- les tâches secondaires (e.g., utiliser le téléphone, discuter, écouter de la musique),
- La vitesse de marche,
- Longueur de pas.

2.2 La récolte des données et les analyses

2.2.1 Méthodes d’observation

L’observation peut être réalisée directement ou via des enregistrements vidéo. Dans le premier cas, un expérimentateur est positionné à un passage piéton et note le temps de traversée, le comportement des piétons aussi bien les caractéristiques du trafic telles que la vitesse et la distance. Dans le second cas, les caméras sont installées à une intersection. Les enregistrements sont réalisés, soit sans que les piétons en soient informés, soit dans un contexte expérimental dans lequel les participants doivent suivre un itinéraire prédéfini. Les analyses des données sont réalisées manuellement, quasi-automatiquement ou automatiquement par un algorithme spécifique. Ces observations sont quelquefois couplées avec une puce RFID pour suivre le piéton et obtenir des informations avec un radar ou un compteur de véhicule sur respectivement la vitesse et le nombre de véhicules. Parfois, un questionnaire ou un entretien est proposé après la traversée de rue.

2.2.2 Méthodes utilisant un véhicule instrumenté

À notre connaissance, aucune étude n’a déjà utilisé un véhicule instrumenté pour comprendre directement le comportement des piétons. Mais, quelques études l’ont utilisé pour analyser le comportement du conducteur et son interaction avec des piétons, spécifiquement lors de la situation du cédez le passage.

2.2.3 Méthodes de simulation

Quelques études ont été réalisées avec un simulateur de conduite pour mieux comprendre les interactions avec les autres piétons, la perception des conducteurs et la situation du Cédez de passage. D’autres recherches utilisaient un simulateur de piétons/marche qui permettaient d’étudier les traversées de rues à l’aide de quelques paramètres, tels que la vitesse des véhicules ou la longueur du *gap* tout en assurant la sécurité des participants. De tels simulateurs peuvent être des écrans sur table ou des écrans à taille réelle.

3 LES DIFFÉRENTS ÉLÉMENTS DE LA PRISE DE DÉCISION DE TRAVERSER

3.1 Indicateurs physiques et biomécaniques

3.1.1 La marche

D'un point de vue biomécanique, la traversée de la rue peut être divisée en quatre phases principales : une phase de marche sur le trottoir, une phase de décélération qui peut aller jusqu'à l'arrêt, une phase de traversée de la route et une phase de remonter sur le trottoir. Afin de modéliser le comportement du piéton durant la traversée de la rue, il est important de prendre en considération le contrôle moteur et la cinématique de marche (postures et mouvements) pendant ces trois phases. De plus, les piétons peuvent changer de direction de marche et transiter de la marche à la course rapidement. Donc tout algorithme de détection de l'estimation de piétons qui devrait être implémenté dans les véhicules automatisés nécessite de prendre en considération les contraintes biomécaniques des piétons (Brouwer et al. 2016). Les premières études sur la locomotion humaine peuvent être retracées jusqu'à la fin du 19^{ème} siècle et la littérature s'est enrichie considérablement depuis. Malheureusement, la grande majorité des expérimentations conduites sur la marche humaine a été réalisée dans des conditions de laboratoire. Ceci est due aux limitations technologiques des capteurs optoélectroniques qui sont employés dans la capture du mouvement qui rendent l'acquisition des postures et mouvements piétons en condition naturelle très compliquée. Pour cela, les données cinématiques des piétons sont limitées à la vitesse de marche. De plus, il n'est pas encore confirmé que les stratégies de contrôle moteur impliquées dans la traversée de rue soient comparables à celles mesurées dans les conditions très contrôlées d'un laboratoire de marche. Ce paragraphe mettra en évidence les recherches les plus pertinentes en lien avec la thématique de la cinématique de la marche des piétons durant la traversée de rue.

La vitesse moyenne de marche spontanée d'un jeune adulte en bonne santé est classiquement établie aux environs d'1,2 m/s (ou variant entre 0,6 à 2,0 m/s). Au-delà de 2 m/s, la marche devient énergétiquement coûteuse et résulte d'une transition vers la course (McNeill et Alexander, 2002). La vitesse moyenne de marche spontanée est réduite chez les enfants (<12 ans ; environ 0,81 m/s) et les personnes âgées (>65 ans ; environ 0,88 m/s) par rapport aux jeunes adultes (Lythgo et al 2011; Kim et Kim 2014). En ce qui concerne le changement de direction durant la marche, Segal et al. (2008) ont montré que la rotation de la hanche, du genou et de la cheville détériore la stabilité de la marche. Par conséquent, même les sujets sains réduisent leur vitesse lorsqu'ils changent de direction de marche ou quand ils suivent une trajectoire curviligne (Courtine et Schieppati, 2003 ; Orendurff et al., 2006). De plus, l'exécution d'une double tâche cognitive réduit ultérieurement la vitesse moyenne de marche chez les enfants ainsi que chez les personnes âgées (Schaefer et al. 2015 ; Deshpande et al., 2009).

Dans le contexte de la traversée de la rue, il a été montré que la vitesse moyenne de marche dépend de plusieurs facteurs comme notamment l'âge, le genre, la météo, l'infrastructure, le nombre de piétons qui traversent simultanément et l'exécution simultanée d'une autre tâche. Les piétons marchent plus lentement au bord de la route que durant la traversée de rue (Lam et al., 2000 ; Montufar et al., 2007 ; Tian et al., 2013). Durant la traversée de rue, les hommes marchent légèrement plus rapidement que les femmes et les jeunes adultes sont plus rapides que les personnes âgées (Tarawneh, 2001 ; Montufar et al., 2007 ; Goh et al., 2012). Montufar et al. (2007) ont montré un effet de la météo sur la vitesse de marche des piétons. De même, la vitesse de traversée augmente quand le passage piéton est plus long et que la durée de signalisation du feu piéton est courte (Zhang et al., 2013). La vitesse de marche est supérieure lorsque les piétons traversent en dehors d'un passage piéton (Goh et al., 2012 ; Chandra & Bharti, 2013). Les piétons marchent plus lentement quand ils traversent la route en groupe de plus de 3 personnes (Tarawneh , 2001) ou lorsque la traversée est bidirectionnelle (Alhajyaseen et al., 2011). Ces études ont ainsi montré que l'effet du nombre de

piétons sur la vitesse de marche moyenne est aussi influencé par la largeur du passage piéton (Tarawneh, 2001 ; Alhajyaseen et al., 2011).

Cependant, il est important de connaître les stratégies motrices durant les phases de décélération avant l’arrivée au bord du trottoir ainsi que le contrôle moteur de l’initiation de la marche si le piéton part d’une posture statique. Ces informations sont essentielles pour permettre aux systèmes embarqués de comprendre l’intention du piéton. Par exemple, s’il est détecté qu’un piéton ne freine pas avant l’arrivée au passage piéton, la voiture doit activer le freinage d’urgence. En ce qui concerne la phase décélération/arrêt au bord du trottoir, Goldhammer et al. (2014) ont mis en place un système de caméras stéréo, calibrées afin d’utiliser une méthode de triangulation pour déterminer la position de la tête des piétons en 3D par rapport à un repère prédéfini. Ils ont trouvé que les piétons commencent à décélérer bien avant l’arrivée au passage piéton. La durée de décélération en moyenne était de 3 secondes et les piétons exécutaient entre 3 et 6 pas du début du freinage jusqu’au moment de l’arrêt total. Ils ont aussi pu identifier que la diminution de la vitesse de marche était due à une réduction de la longueur de pas. La durée de décélération est rallongée chez les enfants et les personnes âgées. Ces résultats corroborent ceux retrouvés pour le contrôle moteur de la terminaison de la marche décrit par les biomécaniciens (Crenna et al., 2001 ; Menant et al., 2009).

La cinématique des piétons pendant l’initiation de la traversée n’a pas encore été documentée du fait de difficultés techniques mais l’initiation de la marche hors contexte est traitée par un grand nombre d’études dans les conditions de laboratoire de marche (voir Yiou et al. 2017 pour une revue de la littérature). En résumé, l’initiation de la marche nécessite un contrôle strict de l’équilibre lié au passage d’une posture symétrique bipodale à une posture asymétrique unipodale. Par conséquent, il est nécessaire d’exécuter des ajustements posturaux anticipateurs avant de soulever la jambe et ainsi éviter la chute. Ces ajustements posturaux consistent à rapprocher le centre de gravité vers la future jambe d’appui tout en se penchant vers l’avant (Honeine et al 2016). La durée des ajustements posturaux peut durer entre 0,5 et 1 seconde. Dans le cas de l’initiation de la traversée, ce contrôle de l’équilibre est couplé aux mouvements de tête et à l’intégration visuelle de la route et des véhicules à proximité (Avineri et al., 2012). Ceci devrait augmenter considérablement la complexité de l’intégration sensorimotrice et le contrôle postural associé à l’initiation du pas. À noter que la vitesse de marche constante n’est atteinte qu’après l’exécution du troisième pas (Najafi et al., 2010). Néanmoins, des changements soudains dans la vitesse de marche sont surtout observés dans les zones de conflits avec les véhicules. Ils sont influencés par la vitesse initiale de marche du piéton, la vitesse nécessaire pour finir la traversée avant que les feux deviennent rouges et la largeur des passages piétons. Une plus grande vitesse initiale baisse la probabilité des changements soudains de vitesse alors qu’un temps disponible court avant que le feu passe au rouge et la largeur de la rue augmente les changements de vitesse.

Conclusion partielle

Pour cette partie, nous pouvons constater qu’il semble ne pas exister d’études détaillées sur la cinématique des piétons et surtout sur les stratégies motrices qui sont mises en œuvre durant la traversée de rue. De telles informations peuvent être requises, lorsque le véhicule autonome a détecté un piéton, dans le but d’identifier si ce dernier a l’intention de traverser la rue ou de continuer sur le trottoir. Cette problématique est adressée dans l’étude en biomécanique présentée dans la partie 2 de ce livrable. En termes de communication externe qui pourrait être envoyée par le véhicule, il sera nécessaire de détecter en amont l’intention de traverser du piéton afin de planifier ou non l’envoi de celle-ci. La problématique de l’adressage de cette communication est des autres enjeux de cette détection.

3.1.2 Les algorithmes de détection des intentions de traverser des piétons

L’interaction entre les véhicules ‘intelligents’ et les piétons nécessite non seulement la bonne détection des piétons mais aussi une bonne capacité à anticiper leur mouvement et estimer leur position future. La détection de l’intention des piétons à partir des capteurs embarqués permettra de fluidifier le trafic tout en augmentant la sécurité routière.

Plusieurs algorithmes d’estimation de l’intention du piéton sont en cours de développement. Dans cette partie, nous avons listé les algorithmes (rendus publique) les plus pertinents.

D’après Brouwer et al. (2016), les algorithmes de détection de l’intention de traverser des piétons peuvent être classés en quatre catégories principales :

- Algorithmes basés sur la cinématique des piétons,
- Algorithmes basés sur la cinématique des piétons et de leurs contraintes biomécaniques,
- Algorithmes basés sur l’orientation de la tête des piétons,
- Algorithmes basés sur la position du piéton par rapport à son environnement.

Catégorie I : Algorithmes basés sur la cinématique des piétons :

Cette catégorie représente les algorithmes qui se basent uniquement sur la dynamique de la voiture par rapport au piéton. En d’autres termes, ils se basent sur la distance entre le piéton et le véhicule, la vitesse du véhicule ainsi que la vitesse et la direction du piéton. Ces algorithmes considèrent que le piéton maintient une vitesse constante. En se basant sur ces variables cinématiques, les systèmes embarqués essaient d’estimer la position future du piéton afin d’éviter une possible collision (Fuerstenberg, 2005 ; Bect, 2006).

Catégorie II : Algorithmes basés sur la posture et les contraintes biomécaniques des piétons.

Les algorithmes de cette catégorie ne se basent pas uniquement sur la dynamique des piétons par rapport aux véhicules mais incluent aussi les contraintes biomécaniques ou les postures des piétons afin d’estimer leur position future. Koehler et al. (2013) et Goldhammer et al. (2013) ont développé un algorithme de Machine Learning qui détecte l’initiation de la traversée durant l’exécution du premier pas en détectant le contour du piéton à partir de caméras (mono et stéréo) d’infrastructure et en se basant sur la posture du tronc et des jambes. Keller et Gavrilin (2014) ainsi que Quintero et al. (2014, 2017) ont développé des algorithmes qui essaient de déterminer si les piétons vont s’arrêter ou non au niveau du passage piétons à partir d’images provenant de caméras d’infrastructures. Wakim et al. (2004) proposent des algorithmes qui estiment la probabilité qu’un piéton accélère, ralentit et change de direction de marche. Ces algorithmes se basent sur des chaînes de Markov qui essaient de classifier l’état du piéton : « debout », « marche » et « course ». L’algorithme se base aussi sur le vecteur vitesse des piétons afin de déterminer la probabilité de transiter d’un état à l’autre et d’estimer la trajectoire future du piéton. Kataoka et al. (2015, 2018) proposent un système qui se base sur un système de fine-grained pedestrian action recognition pour déterminer à partir d’images caméra l’état du piéton : « debout », « traversée », « marche ligne droite », « marche curviligne ».

Catégorie III : Algorithmes basés sur l’orientation de la tête des piétons.

Les algorithmes de cette catégorie se basent sur l’orientation de la tête par rapport au corps afin d’estimer l’intention du piéton. Flohr et al. (2014, 2015), Rehder et al. (2014) et Shulz & Stiefelhagen (2015) proposent, quant à eux, des algorithmes qui sont capables de détecter l’orientation de la tête de piéton à partir d’images enregistrées via des caméra(s) (mono ou stéréo) statique(s). En d’autres termes, ces algorithmes localisent la tête et le corps et utilisent des classifieurs afin d’estimer l’orientation de la tête (droite, gauche, haut, bas) ainsi que l’estimation de l’amplitude de rotation tout en respectant les contraintes anatomiques.

Catégorie IV : Algorithmes basés sur la position du piéton par rapport à son environnement.

Les algorithmes de cette catégorie prennent en compte l’infrastructure à proximité du piéton durant l’estimation de son intention de traversée la rue. Flohr et al. (2015), Bonnin et al. (2014) et Schmidt & Färber (2009) prétendent que la probabilité que le piéton traverse la rue au passage piéton est différente de la traversée sans passage piéton. Ils incluent donc l’estimation de la distance entre le piéton et le trottoir comme variable supplémentaire pour prédire le comportement humain. Redher et al. (2017) proposent un algorithme qui prend en considération les obstacles ainsi que le type d’infrastructure dans la prédiction des trajectoires futures et le comportement de traversée des piétons.

Conclusion partielle

Prédire l’intention des piétons à partir de capteurs d’infrastructure ou embarqués est une tâche complexe. Schmidt et Färber (2009) ont montré que les informations provenant uniquement du vecteur vitesse du piéton (algorithmes catégorie I) ne sont pas suffisantes pour prédire les trajectoires futures du piéton. Ceci est dû notamment au fait que les piétons peuvent changer de direction ou de vitesse de marche sans prévenir le conducteur.

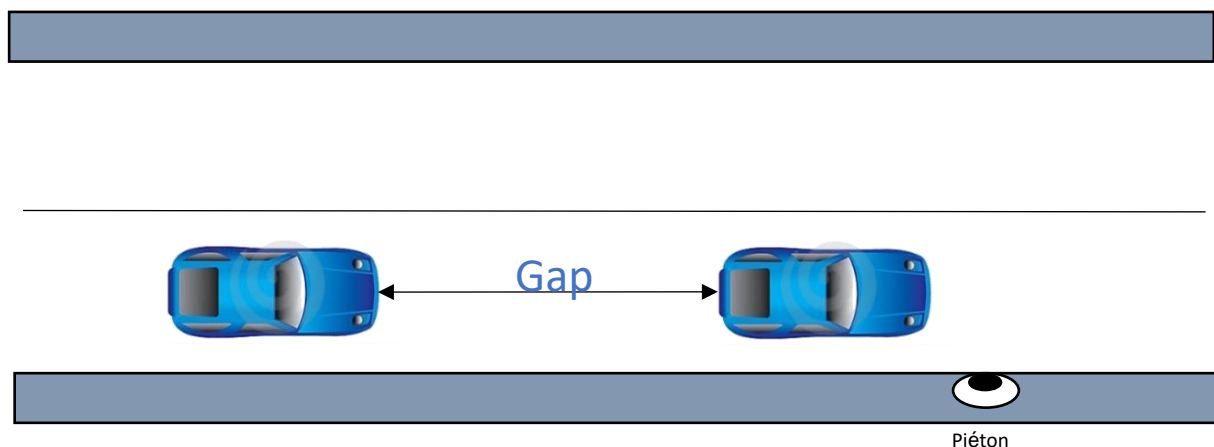
Par contre, les algorithmes qui couplent l’analyse de la posture et du mouvement des piétons avec leurs cinématiques (algorithmes catégorie II) semblent être les plus prometteurs. Néanmoins, Brouwer et al. (2016) montrent qu’une meilleure performance est obtenue quand on fusionne les algorithmes de catégorie II avec l’information de la rotation de la tête (catégorie III) et le positionnement du piéton par rapport à son environnement (catégorie IV).

3.2 L’Acceptation de gap

3.2.1 Définition

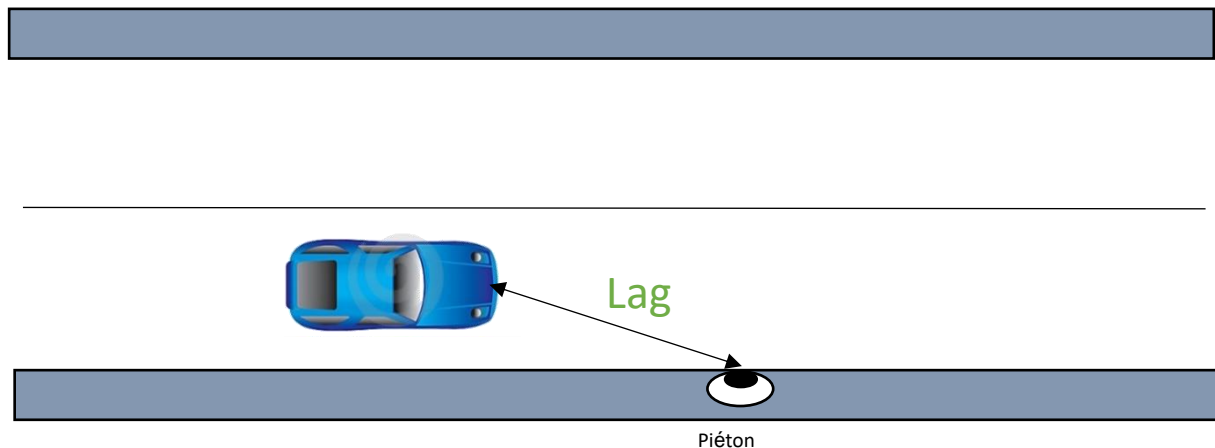
Le *gap* est défini comme le temps disponible (ou la distance) entre deux véhicules (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ; voir par exemple, Koh & Wong, 2014). Il est l’indicateur principalement étudié car quantifiable. Malheureusement, certaines études ne définissent pas toujours le concept de *gap* et la manière dont il est mesuré. Dans le but d’être davantage explicites, certaines études ont introduit le concept de *lag*.

Figure n 1- Représentation d’un gap entre deux véhicules lorsqu’un piéton est en train d’attendre sur le trottoir



Le **lag** est défini comme le temps disponible (ou la distance) entre le véhicule et le temps de la possible traversée de rue (figure 1, voir par exemple, Pawar & Patil, 2015, 2016 ou Boroujerdian & Nemati, 2016).

Figure 1 : Représentation d'un lag entre un véhicule et un piéton qui est en entrain d'attendre sur le trottoir



A priori, le *lag* est moins étudié que le *gap* (environ 8% des études). Aussi, le *lag* n'a jamais été étudié seul. Par exemple, dans les trois études définissant le concept de *lag*, les valeurs du *lag* ont été ajoutées aux valeurs du *gap* dans le but de les analyser comme une variable commune nommée « *gap/lag* » ou, simplement, « *gap* ». L'autre question concerne le temps de traverser qui peut être mesuré soit lorsque le piéton s'arrête au bord du trottoir soit lorsqu'il met un pied sur la route.

D'autres concepts sont aussi utilisés dans la littérature. Le **temps d'arrivée** (*time-to-arrival*) est le temps restant avant que le véhicule atteigne le passage piéton. Le **temps de collision** (*time-to-collision*) est le temps restant avant que le véhicule heurte le piéton. La **marge de sécurité** est un temps ou une distance supplémentaire à celui qui est requis pour traverser la rue. La plupart du temps, les humains ont besoin de garder une marge de sécurité pour être confiants dans leur traversée. Celle-ci est également liée à une surestimation de la durée de traversée.

Conclusion partielle

Ces définitions mènent déjà à des problématiques nécessitant une clarification pour le véhicule autonome. Par exemple, le *lag* serait la détection la plus compliquée à réaliser pour celui-ci. Il devrait être évalué bien avant que le piéton ne pose le pied sur la route, autrement, le piéton serait considéré comme un obstacle sur la route et le véhicule autonome s'arrêterait automatiquement (freinage d'urgence), la décision du piéton étant déjà prise. En d'autres termes, parce qu'elles s'inscrivent dans un environnement dynamique, les futures recherches devront être focalisées sur une évaluation dynamique vue comme une succession de mises à jour du contexte de la pré-traversée menant à la prise de décision et non comme une étape figée dans le temps, liée à l'acceptation de *gap* (ex. j'estime, à un moment précis, que ce *gap* est acceptable et je traverse). Dans les situations présentées dans la littérature, il est trop tard pour que le véhicule autonome puisse anticiper le comportement du piéton.

3.2.2 Résultats

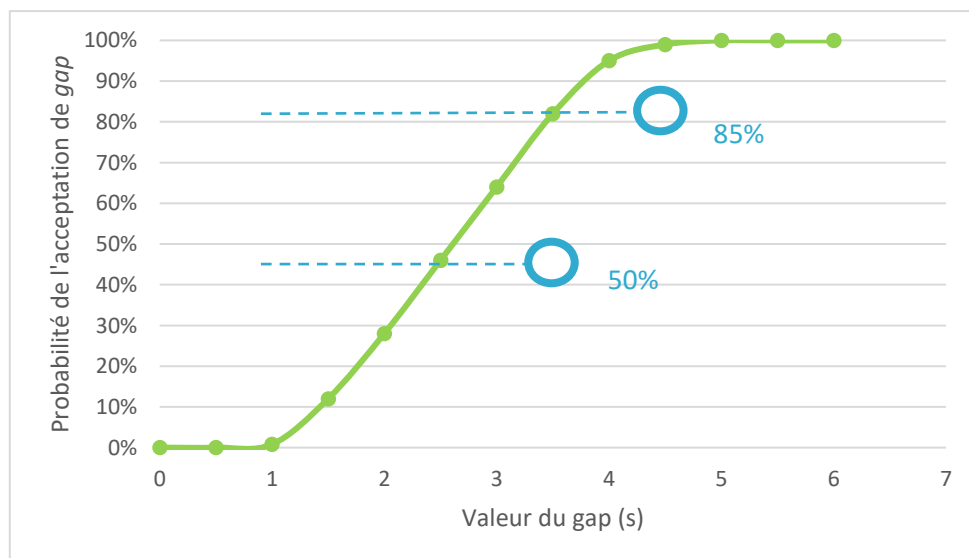
Si quelques limites sont avancées au regard de l’analyse de l’interaction avec le véhicule autonome, les études portant sur l’acceptation de *gap* demeurent intéressantes du fait de la multitude de facteurs étudiés pouvant la moduler.

L’acceptation de *gap* a été étudiée soit par des méthodes en environnement réel (ex. par des enregistrements vidéos dans la rue et des mesures de *gap* automatiques *a posteriori* ; voir Yannis, Padimitriou, Theofilatos, 2013; Petzoldt, 2014; Arman, Rafe & Kretz, 2015) soit dans des études en simulateurs piétons (voir Oxley et al., 2005; Neider et al., 2010; Holland, Hill & Ros, 2010; Dommes et al., 2014 ; Butler, Lord & Fitzpatrick, 2016) ou bien en présentant à des participants des enregistrements de scènes réelles pré-encodées de traversées de rue dans différentes situations (i.e., « simulateurs de table ; Beggiano et al., 2017). Dans ces études sur simulateurs, la taille du *gap* est contrôlée et varie la plupart du temps entre 1 et 13 secondes avec une gamme de véhicules allant de 40 à 60 km/h. Dans certaines études, le *gap* est mesuré (ou contrôlé) dans la voie la plus proche ou la plus éloignée (voir Brewer et al., 2006; Dommes et al., 2014, 2015).

Dans toutes les études prises en compte, la taille du *gap* acceptable (50%, voir ci-dessous), comprise principalement entre 2 et 8 secondes, est dépendante de la situation, de la vitesse du véhicule et de la complexité de la situation (ex. Jain, Gupta & Rastogori, 2014 ; Sisiopiku et al., 2016). Dans certaines études, la valeur du *gap* est plus élevée du fait de la complexité de l’infrastructure (ex. 14 secondes pour traverser 6 voies en une seule fois). Il n’a pas été observé de réelles différences entre des études en environnement réel et des études en laboratoire étant donné que les *gaps* ont été prédéfinis dans les études sur simulateurs avec une large gamme de valeurs.

La figure 2 montre une représentation de la probabilité d’accepter le *gap* proposé en fonction de sa valeur en seconde (les données proviennent de l’étude de Brewer et al., 2006). Sa distribution est toujours logarithmique. Les valeurs retenues dans les analyses de données sont d’une part **l’acceptation de *gap* à 50%** de probabilité qui est la valeur seuil et d’autre part l’acceptation de *gap* à 85% de probabilité qui est la valeur considérée comme celle pour laquelle le *gap* est accepté. D’après Yannis, Padimitriou & Theofilatos (2013), si les véhicules roulent à 50km/h, si la valeur du *gap* augmente de 1%, le taux d’acceptation de *gap* pourrait augmenter jusqu’à 42%.

Figure 2: Exemple d’une forme de distribution de l’acceptation du *gap* en fonction de sa taille (données factices)



Les analyses de données de ces études ont montré que l’acceptation de *gap* est influencée par de nombreux facteurs.

Concernant la configuration des rues - Le *gap* choisi est plus petit (significativement ou descriptivement) pour la voie éloignée que pour la voie proche. Cet effet est augmenté avec l’âge et est associé soit à une mauvaise estimation de la vitesse du véhicule dans la voie éloignée soit à l’absence de prise en compte du temps nécessaire pour traverser la voie éloignée. De nombreuses personnes utilisent une stratégie de *rolling gap*. En d’autres termes, ils évaluent leur possibilité de traverser la prochaine voie après avoir traversé la voie précédente (Brewer et al., 2006; Koh & Wong, 2014).

Concernant la distance et la vitesse des véhicules - L’évaluation du *gap* est davantage basée sur la distance du véhicule que sur la vitesse de ce dernier (Connelly et al., 1998; Oxley et al., 2005; Schmidt & Färber, 2009; Yannis, Padimitriou & Theofilatos, 2013; Petzoldt, 2014). Cet effet est particulièrement marqué chez les personnes âgées. (cf. Dommes et al., 2014). Plus la vitesse du véhicule augmente, plus le *gap* accepté est court (voir, par exemple, Petzoldt, 2014 ou Beggiato et al., 2017).

Concernant le temps d’attente - Plus le piéton attend pour traverser la rue (par exemple, à cause d’une circulation dense), plus le *gap* accepté est court (Kadali, Raghuram & Vedagiri, 2013; Jain, Gupta & Rastoi, 2014; Arman, Rafe & Kretz, 2015).

Concernant une éventuelle activité secondaire - Les individus acceptent davantage des *gaps* plus risqués (i.e., des *gaps* trop courts pour traverser) lorsqu’ils sont engagés dans une tâche secondaire (Neider et al., 2010; Arman, Rafe & Kretz, 2015).

À noter également que du point de vue méthodologique, les évaluations de *gaps* peuvent être différentes ; elles sont moins représentatives lorsque les participants doivent estimer verbalement s’ils sont capables ou non de traverser la rue que lorsqu’ils doivent traverser sur une route réelle ou simulée (te Velde et al., 2005; Lobjois & Cavallo, 2009). L’acceptation de *gap* est plus grande dans une tâche d’évaluation verbale que dans la vie réelle. Pour les futures études, il semble important d’impliquer les participants dans une activité motrice pour obtenir des données représentatives.

Conclusion partielle

Cette partie nous permet d’identifier certains facteurs influençant la sélection de *gap* laquelle est un paramètre essentiel de la prise de décision de traverser la rue. Néanmoins, il semble important de concevoir une méthode plus robuste pour mesurer le *gap* (ou le *lag*) et de mieux comprendre les stratégies cognitives mises en œuvre pour l’évaluer. Cela nécessite que le *gap* soit pris en compte dans le processus de prise de décision avant que le piéton initie sa traversée. Cette mesure du *gap* sera utile pour les véhicules autonomes pour autant que ce *gap* soit perçu comme continuellement mis à jour entre le début du processus de la prise de décision (intention de traverser) et la prise de décision effective (juste avant que le piéton ne mette un pied sur la route). Certains des facteurs modulateurs pourraient être détectés par le véhicule autonome, excepté pour certains plus subjectifs et diffus tel que le temps d’attente par exemple. De futures recherches pourront s’intéresser à d’autres facteurs, comme les différences interindividuelles ou l’infrastructure en étudiant le lien entre ces facteurs et le poids que chacun a sur la prise de décision.

3.3 Effet de l’environnement et indices visuels

3.3.1 L’environnement influence la prise de décision de traverser la rue

Selon les études recensées, les piétons ont des préférences quant aux choix du lieu de la traversée et qui sembleraient servir à sécuriser au mieux leur traversée. Les résultats suivants aident à définir la configuration d’un lieu sécurisé pour les piétons voulant traverser une rue : (i) les piétons préfèrent traverser dans les conduites suivantes, trottoir large, présence de magasins ou de lieux de travail et en *middle-block* (i.e., traversée en milieu de rue, hors carrefour) (Anciaes & Jones, 2016 ; Moura et al., 2017) ; (ii) les piétons traversent la rue davantage dans un environnement complexe mais avec des feux piétons et des marquages au sol (priorité aux piétons), ou dans un environnement calme pour lequel la prise de décision est facilitée (i.e., peu d’interférences attentionnelles ; Ancies & Jones, 2016) ; (iii) les piétons font davantage de traversées dangereuses lorsqu’il y a plusieurs intersections ou lorsque le flux de piétons est important (Pulugurtha & Sambhara, 2011) ; (iv) les piétons préfèrent les lieux où il y a une bonne visibilité (pas de parking, pas d’arbres; Sisiopiku & Akin, 2003; Moura et al., 2017) ou avec une bonne luminosité la nuit (Obeng-Atuah, Poku-Boansi & Cobbinah, 2017) ; (v) les piétons ne perçoivent pas les zones de rencontre comme étant sécurisantes (Miranda-Moreno, Morency, & El-Geneidy, 2011) et ces dernières sont source de conflits (Ferenchak & Marshall, 2018) ; (vi) les piétons évitent les lieux où le trafic est trop dense (Miranda-Moreno, Morency, & El-Geneidy, 2011; Anciaes & Jones, 2016) ; (vii) les piétons les plus âgés préfèrent des trottoirs larges et des passages piétons alors que les plus jeunes préfèrent les raccourcis quelle que soit la praticabilité du chemin (Bernhoft & Cartensen, 2008) ; (viii) le contrôle dynamique des différentes phases des feux d’intersection prenant en compte l’heure de la journée et le nombre de piétons en train de traverser la route permettrait de rendre les traversées plus sûres (Pau et al., 2018) ; (ix) la phase où le feu va bientôt devenir rouge (« clearance phase ») présente un danger. En effet, l’étude de Zhuang, Wu et Ma (2018) a montré sur 4 lieux de traversée en Chine que 85,2 % des piétons traversaient lorsque le feu piéton allait bientôt devenir rouge et parmi eux, 79% ne terminaient pas la traversée avant que le feu piéton ne devienne rouge. Aussi, parmi les 15% des piétons qui attendent sur le lieu de la traversée, plus de la moitié commençaient à traverser alors que le feu piéton était encore rouge.

3.3.2 Les indices visuels pour la prise de décision de traverser

La coordination entre la vision et l’action est définie comme un aspect important à prendre en compte dans la prise de décision de traverser la rue (te Velde et al., 2005; Tom & Granié, 2011). Dans la littérature, la traversée a été décomposée en 4 étapes avec différentes orientations du regard (Geruschat, Hassan & Turano, 2003). En amont de la traversée, le piéton fixe les différents éléments de la traversée tels que le marquage au sol ou le feu piéton. Deuxièmement, lorsque le piéton approche du lieu de la traversée, il fixe son regard sur les véhicules. Troisièmement, lorsque le piéton prend la décision de traverser la rue ou lorsqu’il est dans la position d’initier la traversée, il dirige son regard soit sur les autres véhicules soit sur le feu piéton. Notons que ces stratégies d’observation évoluent avec l’âge. Le piéton jeune (jusqu’à 65 ans) observe plus fréquemment et plus longtemps les voies les plus éloignées, ce qui lui permet d’adopter des choix adaptés aux situations. A l’inverse, le piéton âgé (plus de 65 ans) observe davantage les voies les plus proches, ce qui peut aboutir à des choix non-adaptés et des situations dangereuses (e.g., rester bloquer au milieu des voies) (Dommes et al., 2014). Finalement, lorsqu’il initie la traversée, il dirige sa tête vers les zones dangereuses.

Conclusion partielle

Cette partie nous permet à la fois d’identifier les contextes dans lesquels le véhicule autonome pourrait rencontrer le plus de piétons et souligne les autres facteurs engagés dans la prise de décision qui peuvent être moins intuitifs mais importants.

D’autres études doivent investiguer les liens entre tous ces facteurs et ne pas négliger les autres éléments potentiels. La position du regard est aussi un indicateur supplémentaire pour connaître ce que fait le piéton engagé dans un processus de prise de décision.

3.4 Caractéristiques sociales et individuelles

Les résultats suivants proviennent de questionnaires, d’interviews et de quelques observations écologiques. Tout d’abord, nous ne traversons pas de la même manière lorsque nous sommes en groupe ou seul (Faria, Krause & Krause, 2010). En effet, la probabilité qu’un piéton traverse est 1,5 à 2,5 fois plus importante lorsqu’un autre piéton est engagé sur la route. Cet effet est d’autant plus présent pour les individus conformistes qui sont plus enclins à traverser la rue si une autre personne est en train de le faire, quel que soit la situation (Zhou, Horrey & Yu, 2009). La présence des autres piétons augmente également la variabilité du temps de traversée (Faria, Krause & Krause, 2010), le nombre de changements de prise de décision (Zhou, Horrey & Yu, 2009), et réduit le nombre de regards sur les feux piétons (Zhou et al., 2011). Plus spécifiquement, en présence d’un feu piéton rouge, Sisiopiku & Akin (2003) montrent que les piétons font plus de traversée dangereuse dans cette situation, Yagil (2000) met également en évidence davantage de décisions dangereuses en groupe alors que Rosenbloom (2009) trouve moins de violations en groupe. Un facteur culturel peut souligner ces résultats contradictoires. En effet, en étudiant plusieurs lieux de traversées au Japon et en France, il a été montré que 41% des piétons français traversaient lorsque le feu piéton était rouge contre seulement 21% des japonais. Bien que les japonais présentent un degré de conformisme assez élevé, ils sont moins influencés par les autres piétons que les français lorsque le feu piéton est rouge (Pelé et al., 2017). Aussi, d’après Evans & Norman (1998), les variables psychologiques et sociales peuvent expliquer entre 39% et 52% la décision de traverser la rue. De ce fait, la prise de décision varie en fonction de la motivation du piéton à effectuer le trajet (Yagil, 2000; Papadimitriou, Lassarre & Yannis, 2016), et de variables psychologiques telles que la perception de contrôle et la perception du risque (Evans & Norman, 1998; Diaz, 2002; Granié, 2008; Gorrie et al., 2013).

Les caractéristiques individuelles peuvent également influencer la décision de traverser la rue. Prenons le cas du genre, Les femmes basent leur décision préférentiellement sur l’importance du flux de piétons et les hommes plutôt sur la quantité de trafic (Yagil, 2000). Les femmes prennent aussi plus de temps que les hommes à prendre leur décision de traverser (Pelé et al., 2017). En outre, Tom & Granié (2011) ont souligné que la position du regard des femmes varie avec le type de passage piéton et qu’elles regardent les autres piétons avant et pendant la traversée (Tom & Granié, 2011). Les hommes, quant à eux, regardent les véhicules quelle que soit la situation. L’âge influence aussi les décisions, les individus âgés de 20 à 30 ans montrent une plus grande tendance à traverser au feu rouge que les autres piétons (Pelé et al., 2017). L’expérience de conduite a un effet notable sur les décisions, les individus qui ont l’habitude de conduire prennent moins de décisions dangereuses que les personnes qui ont arrêté de conduire (Holland & Hill, 2007; Ivan, 2016). Nous pouvons préciser que même le degré de religiosité du lieu de la traversée peut influencer les décisions de traversée (Rosenbloom, Newrodov & Barkan, 2004). Des déterminants plus éloignés de la prise de décision ont aussi été mis en évidence tels que la composition familiale (prise de décision plus sécurisée en famille avec des enfants), la destination (ex. aller au travail entraîne davantage de prises de décision dangereuses de traversée qu’aller dans un magasin) et la proximité avec le lieu de résidence rendant la traversée de rue davantage confiante et plus risquée (Hamed, 2001; Park & Shuzuan, 2016).

L’ensemble de éléments précédemment cités augmente donc les incertitudes associées aux comportements de traversée. La communication non verbale permet de réduire ces incertitudes et est donc un facteur important à prendre en compte dans la prise de décision à traverser la rue et certains gestes aident les individus à savoir si le conducteur donne la priorité au piéton (Zhuang & Wu, 2014). La communication non verbale, dans le trafic routier, s’effectue souvent grâce à des indices visuels comme le contact visuel, les gestes de la main ou les mouvements de la tête afin de transmettre l’intention de traverser, de montrer une forme de gratitude ou de demander implicitement le droit de passer (Rasouli, Kotseruba & Tsotsos, 2017).

Conclusion partielle

Certaines caractéristiques sociales semblent être mesurables par le véhicule autonome. Par exemple, si ce véhicule détecte un groupe de piétons, il pourrait anticiper une configuration différente de traversée de rue pouvant être définie comme un contexte favorisant la confiance dans la traversée (i.e., plus de probabilité dans cette situation que les piétons traversent). Cependant, le comportement des groupes de piétons interagissant avec un véhicule autonome devrait faire l’objet de plusieurs études étant donné que d’autres effets sociaux pourraient apparaître, comme par exemple la méfiance collective envers le véhicule autonome. De plus, cette partie de la littérature attire l’attention sur le fait que certains facteurs ne peuvent pas et ne seront pas détectables par le véhicule autonome (e.g., motivation, famille, lieu d’habitation). Certains éléments de l’environnement (e.g., centre-ville, abords d’écoles) pourraient toutefois être utilisés pour estimer la probabilité de certains comportements (e.g., non-respect des priorités, distraction). Aussi, la détection de l’intention de traverser du piéton par le véhicule autonome devra prendre en compte l’ensemble de ces variabilités. Finalement, il semblerait important de permettre au véhicule autonome d’établir des interactions non-verbales avec les autres usagers tels que les piétons, afin de réduire l’incertitude ressentie par ces derniers lors des interactions avec le véhicule autonome. Ainsi, les projets de recherche portant sur la conception de systèmes de communication externe devront être poursuivis.

3.5 D’autres éléments dans la prise de décision

D’autres éléments émergent de la littérature plus élargie à propos de la prise de décision de traverser la rue et de l’accidentologie des piétons. Ces résultats proviennent des modèles de prise de décision, des analyses des accidents et des études concernant les violations. Ainsi, la prise de décision est aussi influencée par de nombreux facteurs.

Le temps d’attente : en moyenne, le temps d’attente observé dans les études avant de pouvoir/vouloir traverser est d’environ 18,7 secondes. Les individus impatientes traversent la rue après un temps d’attente de seulement 3 secondes même si la traversée est dangereuse et/ou reliée à une infraction, les individus les plus patients peuvent attendre jusqu’à 50 secondes (Guo et al., 2002; Zhang et al., 2016). Une étude menée au Qatar a montré que le temps d’attente est plus élevé pour les femmes et les piétons distraits (Muley, Kharbeche, Alhajyaseen & Al-Salem, 2017). Nous avons mentionné précédemment que le temps d’attente modifie l’acceptation de *gap*, ce qui souligne que les futures études devraient en tenir compte.

L’attention et l’anticipation : ces fonctions cognitives dirigées vers les dangers potentiels de la route sont de plus en plus efficaces avec l’âge puis déclinent après l’âge de 65 ans (Borel & Alescio-Lautier, 2014, Dommes, Cavallo & Oxley, 2013, Dommes et al. 2015). En outre, la traversée de rue demande au piéton une attention conjointe ; ils doivent comprendre les intentions des autres usagers de la route tout en communiquant et en prédisant les comportements des autres usagers de la route. Aussi, ce phénomène d’attention conjointe (i.e., engagement simultané de deux ou plus d’individus sur le même objet externe) est très courant lors des traversées de rue (Rasouli, Kotseruba & Tsotsos, 2018).

Les marquages de la route et les feux piétons : les recherches ont trouvé que, contrairement aux passages piétons non-signalisés, les passages piétons signalisés engendreraient plus de traversées dangereuses. Les piétons auraient tendance à ne pas respecter les feux piétons et donc l'ordre de passage des véhicules et des piétons (Sisiopiku & Akin, 2003).

Des conditions de double tâche : les piétons prennent davantage de décisions dangereuses lorsqu'ils réalisent une tâche secondaire telle que l'utilisation du smartphone (Bungum, Day & Henry, 2005; Hatfield & Murphy, 2007; Nasar, Hecht & Wener, 2008; Lennon, Oviedo-Trespalacios & Matthews, 2017). Aussi, certains marqueurs comportementaux peuvent être observés : la vitesse de traversée serait moins élevée chez les piétons distraits (ex. parler en groupe, envoyer des sms, téléphoner...) que chez les piétons non distraits mais l'acceptation de gap serait au contraire plus élevée chez les piétons distraits que chez les piétons non distraits (Muley, Kharbeche, Alhajyaseen & Al-Salem, 2017).

Conditions météo : dans des conditions ensoleillées, les piétons tendent à sous-estimer la vitesse réelle des véhicules roulant à plus de 40km/h, mais sont capables d'estimer de manière juste les vitesses en dessous de 40 km/h. Dans des conditions de pluie, les piétons tendent à sous-estimer la vitesse actuelle des véhicules roulant à plus de 45 km/h, mais estiment de manière juste les vitesses allant de 35 à 45 km/h (estimation directe de la vitesse ; Sun et al., 2015; Zhang et al., 2017).

Conclusion partielle

Cette partie de la littérature souligne de nouveaux éléments qui ont besoin d'être pris en compte par le véhicule autonome. Par exemple, ce dernier devrait être capable de détecter le contexte de traversée (ex. l'infrastructure, la météo, le trafic) et le comportement des piétons (e.g., téléphone-t-il ? Regarde-elle son smartphone ?).

Dans des recherches plus générales portant sur la prise de décision, nous pouvons aussi déplorer l'absence d'études concernant la durée et les processus de mises à jour de la prise de décision. Ce dernier point est un manque très important, ce qui sous-tend un besoin de futures recherches.

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES (PARTIE 1 & 2)

1. Alhajyaseen, W. K. M., Nakamura, H., & Asano, M. (2011). Effects of bi-directional pedestrian flow characteristics upon the capacity of signalized crosswalks. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 16, 526-535.
2. Alhajyaseen, W. K., & Iryo-Asano, M. (2017). Studying critical pedestrian behavioral changes for the safety assessment at signalized crosswalks. *Safety science*, 91, 351-360.
3. Anciaes, P. R., & Jones, P. (2016). *Pedestrians avoid busy roads: evidence from video surveys and bus stop data*. Street mobility and network accessibility series working paper 07, UCL, Belgium.
4. Arman, M. A., Rafe, A., & Kretz, T. (2015). *Pedestrian Gap Acceptance Behavior, A Case Study: Tehran*. In Transportation Research Board 94th Annual Meeting (No. 15-2217).
5. Avineri, E., Shinar, D., & Susilo, Y. O. (2012). Pedestrians' behaviour in cross walks: the effects of fear of falling and age. *Accident Analysis & Prevention*, 44(1), 30-34.
6. Bect, J. (2006) Method and system for predicting the impact between a vehicle and a pedestrian U.S. Patent US20090143987 A1.
7. Beggiato, M., Witzlack, C., Springer, S., & Krems, J. (2017). *The Right Moment for Braking as Informal Communication Signal Between Automated Vehicles and Pedestrians in Crossing Situations* (pp. 1072–1081). Springer, Cham.
8. Bernhoft, I. M., & Carstensen, G. (2008). Preferences and behaviour of pedestrians and cyclists by age and gender. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 11(2), 83-95.
9. Bonnin, S., Weisswange, T.H., Kummert, F., & Schmuедderich J. (2014) General Behavior Prediction by a Combination of Scenario-Specific Models. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15, 4, 1478 – 1488.
10. Borel, L., & Alescio-Lautier, B. (2014). Posture and cognition in the elderly: interaction and contribution to the rehabilitation strategies. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 44(1), 95-107.
11. Boroujerdian, A. M., & Nemati, M. (2016). Pedestrian Gap Acceptance Logit Model in Unsignalized Crosswalks Conflict Zone. *International Journal of Transportation Engineering*, 4(2), 87-96.
12. Brewer, M., Fitzpatrick, K., Whitacre, J., & Lord, D. (2006). Exploration of pedestrian gap-acceptance behavior at selected locations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1982), 132-140.
13. Brouwer N., Kloeden H., & Stiller C. (2016). Comparison and Evaluation of Pedestrian Motion Models for Vehicle Safety Systems. In *IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*.

14. Bungum, T. J., Day, C., & Henry, L. J. (2005). The association of distraction and caution displayed by pedestrians at a lighted crosswalk. *Journal of community health, 30*(4), 269-279.
15. Butler, A. A., Lord, S. R., & Fitzpatrick, R. C. (2016). Perceptions of speed and risk: experimental studies of road crossing by older people. *PLoS one, 11*(4), e0152617.
16. Chandra, S., & Bharti, A. K. (2013). Speed Distribution Curves for Pedestrians During Walking and Crossing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 104*, 660-667.
17. Cœugnet, S., Cahour, B., & Kraïem, S. (2019). Risk-taking, emotions and socio-cognitive dynamics of pedestrian street-crossing decision-making in the city. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 65*, 141-157.
18. Cœugnet, S., Kraïem, S., & Cahour, B. (2018). Time pressure in street-crossing decision-making: a study in a natural environment. In 29th ICAP. Montréal, Canada.
19. Cœugnet, S., Kraïem, S., & Cahour, B. (2017). Prise de décision des piétons en traversée de rue : revue de questions et perspectives de recherche. In *Épique*. Dijon, France.
20. Connelly, M. L., Conaglen, H. M., Parsonson, B. S., & Isler, R. B. (1998). Child pedestrians' crossing gap thresholds. *Accident Analysis & Prevention, 30*(4), 443-453.
21. Courtine, G., & Schieppati, M. (2003). Human walking along a curved path. I. Body trajectory, segment orientation and the effect of vision. *European journal of neuroscience, 18*, 177–190.
22. Crenna, P., Cuong, D. M., & Brénière, Y. (2001). Motor programmes for the termination of gait in humans: organisation and velocity-dependent adaptation. *Journal of Physiology, 537*, 1059-1072.
23. Deshpande, N., Metter, E. J., Bandinelli, S., Guralnik, J., & Ferrucci, L. (2009). Gait speed under varied challenges and cognitive decline in older persons: a prospective study. *Age Ageing, 38*, 509-514.
24. Diaz, E. M. (2002). Theory of planned behavior and pedestrians' intentions to violate traffic regulations. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 5*(3), 169-175.
25. Dommes, A., Cavallo, V., & Oxley, J. (2013). Functional declines as predictors of risky street-crossing decisions in older pedestrians. *Accident Analysis & Prevention, 59*, 135-143.
26. Dommes, A., Cavallo, V., Dubuisson, J. B., Tournier, I., & Vienne, F. (2014). Crossing a two-way street: comparison of young and old pedestrians. *Journal of safety research, 50*, 27-34.
27. Dommes, A., Le Lay, T., Vienne, F., Dang, N. T., Beaudoin, A. P., & Do, M. C. (2015). Towards an explanation of age-related difficulties in crossing a two-way street. *Accident Analysis & Prevention, 85*, 229-238.
28. Dommes, A., Granié, M. A., Cloutier, M. S., Coquelet, C., & Huguenin-Richard, F. (2016). Red light violations by adult pedestrians and other safety-related behaviors at signalized crosswalks. *Accident Analysis & Prevention, 80*, 67-75.

29. Evans, D., & Norman, P. (1998). Understanding pedestrians' road crossing decisions: an application of the theory of planned behaviour. *Health Education Research*, 13(4), 481-489.
30. Faria, J. J., Krause, S., & Krause, J. (2010). Collective behavior in road crossing pedestrians: the role of social information. *Behavioral Ecology*, 21(6), 1236-1242.
31. Ferenchak, N. N., & Marshall, W. E. (2018). Spontaneous order of pedestrian and vehicle intersection conflicts in the Indian context. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 55, 451–463.
32. Flohr, F., Dumitru-Guzu M., Kooij J., & Gavrila D. (2015) A Probabilistic Framework for Joint Pedestrian Head and Body Orientation Estimation. *IEEE Trans. Intell. Trans. Sys.*, vol. 99, 1–11.
33. Flohr, F., Dumitru-Guzu, M., Kooij J.F. P. & Gavrila, D. M. (2014) *Joint probabilistic pedestrian head and body orientation estimation*. In Intelligent Vehicles Symposium (IV).
34. Fuerstenberg, K. Ch. (2005) *Reliable pedestrian protection using laserscanners*. Proc. 8th Intl. Conference on Intelligent Transportation Systems, Vienna.
35. Geruschat, D. R., Hassan, S. E., & Turano, K. A. (2003). Gaze behavior while crossing complex intersections. *Optometry & Vision Science*, 80(7), 515-528.
36. Geruschat, D. R., Hassan, S. E., Turano, K. A., Quigley, H. A., & Congdon, N. G. (2006). Gaze behavior of the visually impaired during street crossing. *Optometry & Vision Science*, 83(8), 550-558.
37. Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception* Boston: Houghton Miffling, c1979.
38. Gibson, J. J. (2014). *Approche écologique de la perception visuelle*. Éd. Dehors.
39. Goh, B.H., Subramaniam, K., Wai, Y. T., & Abdullahi A. M. (2012) Pedestrian Crossing Speed: The Case of Malaysia. *International Journal for Traffic and Transport Engineering (IJTTE)*, 2, 323-332.
40. Goldhammer, M., Gerhard, M., Zernetsch, M., Doll, K., & Brunsmann, U. (2013). Early Prediction of a Pedestrian’s Trajectory at Intersections. *International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 237–242.
41. Goldhammer, M., Hubert, A., Koehler, S., Zindler, K., Brunsmann, U., Doll, K., & Bernhard, S. (2014). Analysis on Termination of Pedestrians’ Gait at Urban Intersections. In *Proc. IEEE Intelligent Transportation System Conference*, 1758–1763.
42. Gorrie, C. A., Larsen, L. G., & Waite, P. M. (2013). Age and gender differences in perceptions of traffic risk and safety for older pedestrians in metropolitan Sydney. *Journal of the Australasian College of Road Safety*, 24(4), 28.
43. Granié, M. A. (2008). Influence de l'adhésion aux stéréotypes de sexe sur la perception des comportements piétons chez l'adulte. *Recherche, transports, sécurité*, (101), 253-263.

44. Granié, M. A., Montel, M. C., Brenac, T., Coquelet, C., Millot, M., & Monti, F. (2012). Perception de l'environnement urbain par les piétons : une exploration par la méthode des focus groups. In *Qualité et sécurité du déplacement piéton : facteurs, enjeux et 26 nouvelles actions*. Actes du 3ème colloque francophone international COPIE 2011 (Vol. 28, pp. 97-116). Les collections de l'IFSTTAR, Paris.
45. Granié, M. A., Pannetier, M., Guéhi, L. (2012). Validation Française d'une Echelle de Comportements Piétons. In *Qualité et sécurité du déplacement piéton : facteurs, enjeux et 26 nouvelles actions*. Actes du 3ème colloque francophone international COPIE 2011 (Vol. 28, pp. 289-298). Les collections de l'IFSTTAR, Paris.
46. Granié, M. A., Brenac, T., Montel, M. C., Millot, M., & Coquelet, C. (2014). Influence of built environment on pedestrian's crossing decision. *Accident Analysis & Prevention*, 67, 75-85.
47. Guo, H., Gao, Z., Yang, X., & Jiang, X. (2011). Modeling pedestrian violation behavior at signalized crosswalks in China: A hazards-based duration approach. *Traffic injury prevention*, 12(1), 96-103.
48. Guo, H., Wang, W., Guo, W., Jiang, X., & Bubb, H. (2012). Reliability analysis of pedestrian safety crossing in urban traffic environment. *Safety Science*, 50(4), 968-973.
49. Hamed, M. M. (2001). Analysis of pedestrians' behavior at pedestrian crossings. *Safety Science*, 38(1), 63-82.
50. Hassan, S. E., Geruschat, D. R., & Turano, K. A. (2005). Head movements while crossing streets: effect of vision impairment. *Optometry & Vision Science*, 82(1), 18-26.
51. Hatfield, J., & Murphy, S. (2007). The effects of mobile phone use on pedestrian crossing behaviour at signalised and unsignalised intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 39(1), 197-205.
52. Honeine, J. L., Schieppati, M., Crisafulli, O., & Do, M. C. (2016). The Neuro-Mechanical Processes That Underlie Goal-Directed Medio-Lateral APA during Gait Initiation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 31, 10:445.
53. Holland, C., & Hill, R. (2010). Gender differences in factors predicting unsafe crossing decisions in adult pedestrians across the lifespan: a simulation study. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4), 1097-1106.
54. Holland, C., & Hill, R. (2007). The effect of age, gender and driver status on pedestrians' intentions to cross the road in risky situations. *Accident Analysis & Prevention*, 39(2), 224-237.
55. Ivan, J. N., Ravishanker, N., Townsend, R., Mamum, S., Caraballo, F., & Zhang, Y. (2016). Social network effects on attitudes about pedestrian street crossing behaviour: preliminary findings. In *17th International Conference Road Safety On Five Continents (RS5C 2016)*, Rio de Janeiro, Brazil, 17-19 May 2016 (pp. 1-12). Statens väg-och transport for sknings institut.
56. Jain, A., Gupta, A., & Rastogi, R. (2014). Pedestrian crossing behaviour analysis at intersections. *International Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 4(1), 103-116.

57. Kadali, B. R., & Vedagiri, P. (2013). Effect of vehicular lanes on pedestrian gap acceptance behaviour. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 104, 678-687.
58. Keller, C. & Gavrilu, D. (2014). Will the pedestrian cross? a study on pedestrian path prediction. *IEEE trans. Intell. Transportation System* 15, 494–506.
59. Kim, W.S., & Kim, E. Y. (2014). Comparing self-selected speed walking of the elderly with self-selected slow, moderate, and fast speed walking of young adults. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 38, 101-108.
60. Koehler, S., Goldhammer, M., Bauer, S., Zecha, S., Doll, K., Brunsmann, U., & Dietmayer. K. (2013). Stationary detection of the pedestrian’s intention at intersections. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 5(4), 87–99.
61. Koh, P. P., & Wong, Y. D. (2014). Gap acceptance of violators at signalised pedestrian crossings. *Accident Analysis & Prevention*, 62, 178-185.
62. Kraiem, S., Bel, M., & Coeugnet, S. (2018). Prediction of the Road Users’ Behaviors Beyond an Autonomous Vehicle. In *29th International Congress of Applied Psychology*. Montréal.
63. Lam, W. H. K., & Cheung, C. Y. (2000). Pedestrian Speed/Flow Relationships for Walking Facilities in Hong Kong. *Journal of Transportation Engineering*, 126, 343-349.
64. Lennon, A., Oviedo-Trespalacios, O., & Matthews, S. (2017). Pedestrian self-reported use of smart phones: positive attitudes and high exposure influence intentions to cross the road while distracted. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 338-347.
65. Lobjois, R., & Cavallo, V. (2007). Age-related differences in street-crossing decisions: The effects of vehicle speed and time constraints on gap selection in an estimation task. *Accident analysis & prevention*, 39(5), 934-943.
66. Lobjois, R., & Cavallo, V. (2009). The effects of aging on street-crossing behavior: from estimation to actual crossing. *Accident Analysis & Prevention*, 41(2), 259-267.
67. Lobjois, R., Benguigui, N., & Cavallo, V. (2013). The effects of age and traffic density on street-crossing behavior. *Accident Analysis & Prevention*, 53, 166-175.
68. Lythgo, N., Wilson, C., & Galea, M. (2011). Basic gait and symmetry measures for primary school-aged children and young adults. II: walking at slow, free and fast speed. *Gait Posture*. 33, 29-35.
69. Mamidipalli, S. V., Sisiopiku, V. P., Schroeder, B., & Elefteriadou, L. (2015). A Review of Analysis Techniques and Data Collection Methods for Modeling Pedestrian Crossing Behaviors. *Mechanics*, 2(2), 225-232.
70. McNeill, A. R. (2002). Energetics and optimization of human walking and running: the 2000 Raymond Pearl memorial lecture. *American Journal of Human Biology*, 14, 641-648.

71. Meir, A., Parmet, Y., & Oron-Gilad, T. (2013). Towards understanding child-pedestrians' hazard perception abilities in a mixed reality dynamic environment. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 20, 90-107.
72. Menant, J. C., Steele, J. R., Menz, H. B., Munro, B. J., & Lord, S. R. (2009). Rapid gait termination: effects of age, walking surfaces and footwear characteristics. *Gait Posture*, 30, 65-70.
73. Millard-Ball, A. (2018). Pedestrians, autonomous vehicles, and cities. *Journal of planning education and research*, 38(1), 6-12.
74. Miranda-Moreno, L. F., Morency, P., & El-Geneidy, A. M. (2011). The link between built environment, pedestrian activity and pedestrian–vehicle collision occurrence at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), 1624-1634.
75. Montufar, J., Arango, J., Porter, M., & Nakagawa, S. (2007). Pedestrians' Normal Walking Speed and Speed When Crossing a Street. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2002, 90-97
76. Moura, F., Cambra, P., & Gonçalves, A. B. (2017). Measuring walkability for distinct pedestrian groups with a participatory assessment method: A case study in Lisbon. *Landscape and Urban Planning*, 157, 282-296.
77. Muley, D., Kharbeche, M., Alhajyaseen, W., & Al-Salem, M. (2017). Pedestrians' Crossing Behavior at Marked Crosswalks on Channelized Right-Turn Lanes at Intersections. *Procedia Computer Science*, 109, 233–240.
78. Nasar, J., Hecht, P., & Wener, R. (2008). Mobile telephones, distracted attention, and pedestrian safety. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 69-75.
79. Najafi, B., Miller, D., Jarrett, B. D., & Wrobel, J.S. (2010). Does footwear type impact the number of steps required to reach gait steady state?: an innovative look at the impact of foot orthoses on gait initiation. *Gait Posture*. 32, 29-33.
80. Neider, M. B., McCarley, J. S., Crowell, J. A., Kaczmariski, H., & Kramer, A. F. (2010). Pedestrians, vehicles, and cell phones. *Accident Analysis & Prevention*, 42(2), 589-594.
81. Obeng-Atuah, D., Poku-Boansi, M., & Cobbinah, P. B. (2017). Pedestrian crossing in urban Ghana: Safety implications. *Journal of Transport & Health*, 5, 55–69.
82. Orendurff, M. S., Segal, A. D., Berge, J. S., Flick, K. C., Spanier, D., & Klute, G. K. (2006). The kinematics and kinetics of turning: limb asymmetries associated with walking a circular path. *Gait and Posture*, 23, 106-111.
83. Oxley, J. A., Ihsen, E., Fildes, B. N., Charlton, J. L., & Day, R. H. (2005). Crossing roads safely: an experimental study of age differences in gap selection by pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 37(5), 962-971.
84. Park, H. J., Li, S., Yu, W., Yang, W., Alhajyaseen, W., & Iryo-Asano, M. (2016). Pedestrian crossing behavior and compliance at signalized intersections. In 17th International Conference

- Road Safety On Five Continents (RS5C 2016), Rio de Janeiro, Brazil, 17-19 May 2016., Statens väg-och transport forskningsinstitut.
85. Papadimitriou, E., Lassarre, S., & Yannis, G. (2016). Pedestrian risk taking while road crossing: A comparison of observed and declared behaviour. *Transportation research procedia*, 14, 4354-4363.
 86. Pau, G., Campisi, T., Canale, A., Severino, A., Collotta, M., & Tesoriere, G. (2018). Smart Pedestrian Crossing Management at Traffic Light Junctions through a Fuzzy-Based Approach. *Future Internet*, 10(2), 15.
 87. Pawar, D. S., & Patil, G. R. (2016). Critical gap estimation for pedestrians at uncontrolled mid-block crossings on high-speed arterials. *Safety science*, 86, 295-303.
 88. Pawar, D. S., & Patil, G. R. (2015). Pedestrian temporal and spatial gap acceptance at mid-block street crossing in developing world. *Journal of safety research*, 52, 39-46.
 89. Pelé, M., Bellut, C., Debergue, E., Gauvin, C., Jeanneret, A., Leclere, T., ... Sueur, C. (2017). Cultural influence of social information use in pedestrian road-crossing behaviours. *Royal Society Open Science*, 4(2), 160739.
 90. Perry, A., Verbin, D., & Kiryati, N. (2017, September). Crossing the road without traffic lights: an android-based safety device. In *International Conference on Image Analysis and Processing* (pp. 534-544). Springer, Cham
 91. Petitmengin, C. (2010). La dynamique pré-réfléchie de l'expérience vécue. *Alter-Revue de phénoménologie*, 18, 165-182
 92. Petzoldt, T. (2014). On the relationship between pedestrian gap acceptance and time to arrival estimates. *Accident Analysis & Prevention*, 72, 127-133.
 93. Pulugurtha, S. S., & Sambhara, V. R. (2011). Pedestrian crash estimation models for signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 43(1), 439-446.
 94. Quintero, R., Almeida, J., Llorca, D., & M. Sotelo. (2014). Pedestrian path prediction using body language traits. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings*, 317–323.
 95. Quintero, R., Parra, I., Lorenzo, J., Fernandez-Llorca, D., & Sotelo, M.A. (2017). *Pedestrian Intention Recognition by Means of a Hidden Markov Model and Body Language*. IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC).
 96. Rasouli, A., Kotseruba, I., & Tsotsos, J. K. (2017). Agreeing to cross: How drivers and pedestrians communicate. In *2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (pp. 264–269). IEEE.
 97. Rasouli, A., Kotseruba, I., & Tsotsos, J. K. (2018, November). Towards social autonomous vehicles: Understanding pedestrian-driver interactions. In *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 729-734). IEEE.
 98. Rehder, E. (2014). *Head detection and orientation estimation for pedestrian safety*. Proc. IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 2292-2297.

99. Rehder, E., Wirth, F., Lauer, M., & Stiller, C. (2017). Pedestrian Prediction by Planning using Deep Neural Networks. *CoRR*, abs/1706.05904.
100. Rosenbloom, T., Nemrodov, D., & Barkan, H. (2004). For heaven's sake follow the rules: pedestrians' behavior in an ultra-orthodox and a non-orthodox city. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 7(6), 395-404.
101. Rosenbloom, T. (2009). Crossing at a red light: Behaviour of individuals and groups. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(5), 389-394.
102. Segal, A. D., Orendurff, M. S., Czerniecki, J. M., Shofer, J. B., & Klute, G. K. (2008). Local dynamic stability in turning and straight-line gait. *Journal of Biomechanics*, 41, 1486-1493.
103. Schmidt, S., & Färber, B. (2009). Pedestrians at the kerb—Recognising the action intentions of humans. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 12(4), 300-310.
104. Schaefer, S., Jagenow, D., Verrel, J., & Lindenberger, U. (2015). The influence of cognitive load and walking speed on gait regularity in children and young adults. *Gait Posture*, 41, 258-262.
105. Tian, R. Du, E. Y, Yang, K., Jiang, P., Jiang, F., Chen, Y., Sherony, R., & Takahashi, H. (2013). Pilot study on pedestrian step frequency in naturalistic driving environment. In *Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 1215–1220.
106. Sisiopiku, V. P., & Akin, D. (2003). Pedestrian behaviors at and perceptions towards various pedestrian facilities: an examination based on observation and survey data. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 6(4), 249-274.
107. Sisiopiku, V. P., Mamidipalli, S. V., Schroeder, B., & Elefteriadou, L. (2016). Time-of-day Visibility-based Pedestrian Gap Acceptance Model for Two-Way Stop Controlled Crossings. *Procedia Engineering*, 161, 241-246.
108. Sun, R., Zhuang, X., Wu, C., Zhao, G., & Zhang, K. (2015). The estimation of vehicle speed and stopping distance by pedestrians crossing streets in a naturalistic traffic environment. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 30, 97-106.
109. Tarawneh, M. S. (2001). Evaluation of pedestrian speed in Jordan with investigation of some contributing factors. *Journal of Safety Research*, 32(2), 229-236.
110. Tom, A., & Granié, M. A. (2011). Gender differences in pedestrian rule compliance and visual search at signalized and unsignalized crossroads. *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), 1794-1801.
111. te Velde, A. F., van der Kamp, J., Barela, J. A., & Savelsbergh, G. J. (2005). Visual timing and adaptive behavior in a road-crossing simulation study. *Accident Analysis & Prevention*, 37(3), 399-406.
112. Vermersch, P. (1994). L'entretien d'explicitation. Nouvelle édition enrichie d'un glossaire. *ESF Éditeur*.

113. Vermersch, P. (2009). Describing the practice of introspection. *Journal of Consciousness Studies*, 16(10-11), 20-57.
114. Yagil, D. (2000). Beliefs, motives and situational factors related to pedestrians’ self-reported behavior at signal-controlled crossings. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 3(1), 1-13.
115. Yannis, G., Papadimitriou, E., & Theofilatos, A. (2013). Pedestrian gap acceptance for mid-block street crossing. *Transportation planning and technology*, 36(5), 450-462.
116. Wakim, F., Capperon, S. & Oksman, J. (2004). A Markovian model of pedestrian behavior. *Proc. IEEE Int. Conf. Syst., Man Cybern.*, 4, 4028–4033.
117. Yiou, E., Caderby, T., Delafontaine, A., Fourcade, P., & Honeine, J. L. (2017). Balance control during gait initiation: State-of-the-art and research perspectives. *World Journal of Orthopedics*. 8, 815-828.
118. Zhang, X., Chen, P., Nakamura, H., & Asano, M. (2013). Modeling pedestrian walking speed at signalized crosswalks considering crosswalk length and signal timing. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol. 9.
119. Zhou, R., Horrey, W. J., & Yu, R. (2009). The effect of conformity tendency on pedestrians’ road-crossing intentions in China: An application of the theory of planned behavior. *Accident Analysis & Prevention*, 41(3), 491-497.
120. Zhuang, X., Wu, C., & Ma, S. (2018). Cross or wait? Pedestrian decision making during clearance phase at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 111, 115–124.
121. Zhang, Z., Wang, D., Liu, T., & Liu, Y. (2016). Waiting Endurance Time of Pedestrians Crossing at Signalized Intersections in Beijing. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2581, 95-103.
122. Zhuang, X., & Wu, C. (2014). Pedestrian gestures increase driver yielding at uncontrolled mid-block road crossings. *Accident Analysis & Prevention*, 70, 235-244.