Virtualisation de Joutes Urbaines : modélisation réaliste des évitements sur trottoir étroit

Cléo DEROO[1,2], Angélique MONTUWY[1,3], Béatrice DEGRAEVE[4], Jean-Michel Auberlet[1], Anne-Hélène OLIVIER[5], Marie-Axelle GRANIE[6]

[1] Université Paris-Est, COSYS, LEPSIS, IFSTTAR, Paris, France

[2] Centrale Nantes, Nantes, France

[3] Telecom ParisTech, Paris, France

[4] Lille Catholic University, OCeS, Lille, France

[5] M2S lab, University Rennes 2 - ENS Rennes – UEB, Rennes, France

[6] Univ Lyon, IFSTTAR, TS2, LESCOT, Lyon, France

RESUME

Les trottoirs étroits, héritages d'un centre-ville historique ou résultats d'aménagements prenant insuffisamment en compte les flux piétonniers, sont le lieu d'interactions intenses entre piétons. Ces interactions, parfois qualifiées de joutes urbaines, correspondent aux situations où deux piétons se croisent sur un trottoir étroit, obligeant l'un d'entre eux à descendre pour laisser passer l'autre. Lors de ces joutes, le piéton qui descend se retrouve sur la chaussée, espace dédié au trafic motorisé et source de danger potentiel. La dangerosité de ces situations est encore mal évaluée, mais l'inconfort pour le piéton est indéniable. Dans ce contexte, les simulateurs de conduite et les simulateurs de marche sont alors des outils incontournables, en ce qu'ils permettent une grande immersion tout en offrant un cadre d'action sans risque physique. Il devient alors nécessaire de peupler l'environnement virtuel de personnages non joueur (PNJs) crédibles pour ces situations de joutes urbaines, afin d'étudier de telles situations de façon réaliste et de mieux comprendre les comportements d'évitements, tant du point de vue du marcheur que de celui du conducteur. Dans un contexte interdisciplinaire (informatique, psychologie), cette contribution vise à proposer un modèle d'évitement piéton sur un trottoir étroit, l'agent piéton décidant de descendre ou non du trottoir selon ses propres caractéristiques physiques, sociales et psychologiques, et les informations qu'il peut percevoir chez autrui.

Keywords: Perception, évitement de collision, piéton, personnalité.

Index Terms:

1 INTRODUCTION

Les trottoirs sont le résultat d'héritages ou de conceptions d'infrastructures inadaptées pour les piétons (Figure 1). Dans ce contexte, lorsque deux piétons se croisent, l'un des deux doit descendre du trottoir pour laisser passer l'autre. Il s'expose alors au trafic routier, ce type d'aménagement pouvant ainsi être une source de danger potentiel. Ces face-à-face entre deux personnes sur trottoir étroit peuvent être qualifiés de joutes urbaines [1]. Ces situations d'infrastructure urbaine sont aujourd'hui sous-estimées, de même que les risques associés.



Figure 1: Exemple de trottoir étroit en France.

Les dispositifs de réalité virtuelle tels que les simulateurs de conduite et les simulateurs de marche sont alors des outils utiles permettant aux chercheurs de mener des études sur des situations à risque dans un environnement sûr [2, 3, 4]. Concernant les joutes urbaines, ils peuvent ainsi mener des expérimentations en environnement virtuel pour mieux connaitre les réactions d'un piéton face à un autre piéton ou d'un conducteur face à un piéton dans cette situation. Cela suppose que les sujets humains puissent interagir avec des humains simulés, appelés personnages non joueurs (PNJs). Les travaux présentés ici visent à contribuer à l'élaboration de modèles de PNJs piétons se déplaçant sur un trottoir étroit, capables d'interagir avec un autre PNJ, et pouvant descendre ou non de ce trottoir.

Dans un cadre interdisciplinaire, nous présenterons d'abord à partir de la littérature plusieurs facteurs psycho-sociaux impliqués dans le type d'interaction qu'est une joute urbaine. Dans un deuxième temps, une expérimentation par questionnaire a permis de tester l'impact des facteurs identifiés retenus. Sur la base des facteurs principaux, nous proposerons ensuite un modèle de perception, qui nous a amené à modifier le modèle ORCA [5], modèle microscopique d'évitement de collisions parmi les plus connus. Dans la dernière étape, nous évaluerons la cohérence de toutes nos interactions simulées avec le moteur de jeu Unity3D dans le cadre d'une deuxième expérience basée sur un nouveau questionnaire. Enfin, nous discuterons des limites de notre étude et des perspectives envisagées.

2 TRAVAUX EXISTANTS

La proxémie est une distance qui caractérise la proximité entre individus mise en évidence par Hall en 1966 [6]. Cette distance d'interaction entre deux individus est fonction de leurs personnalités, de leur degré d'intimité et des habitudes culturelles. Ainsi, chaque individu conserve, selon le contexte, une certaine distance avec les autres individus y compris lors de ses déplacements à pied.

Pour préserver cette distance, le piéton va être amené à adapter son mouvement lors d'une rencontre avec un obstacle, qu'il soit mobile ou non, humain ou non. Ainsi, il existerait autour de l'individu une zone de sûreté [7] qui amène le piéton à régir, en amorçant l'évitement par exemple, en cas d'intrusion d'un obstacle ou d'un autre individu dans cette zone. De nombreux travaux s'intéressent à la caractérisation des zones et des distances entre individus, comme ceux de Pfaff [8] qui établissent un lien avec le sexe des individus. Ainsi on peut distinguer plusieurs types de distance, une distance de perception (le piéton voit les objets), une distance d'action (le piéton modifie sa trajectoire) et une distance minimale proxémique (aucun obstacle ne pénètre l'espace personnel).

Une fois l'autre individu perçu, le piéton considéré (l'agent) doit déterminer si une collision va avoir lieu, puis réagir [9]. Cette estimation dépend des vitesses et distances de chacun des protagonistes. Ainsi, Ondrej et al. [10] considèrent que la réaction à la situation est établie par l'agent en supposant que la vitesse de l'autre individu reste constante. De plus, ils mentionnent le fait que chaque individu cherche à dévier aussi peu que possible de sa trajectoire initiale.

Cet évitement peut avoir lieu de deux façons [11] : par un simple changement de direction, ou par un changement de direction couplé à un changement de vitesse. Selon les auteurs, c'est soit la décélération qui permet le changement de direction [12], soit le changement de direction qui provoque le ralentissement [7]. Parfois l'évitement de la collision se fait de façon collaborative, c'est-à-dire que les deux protagonistes vont chercher à se contourner l'un l'autre [9]. L'évitement peut aussi être asymétrique. Lorsque deux individus ayant des trajectoires orthogonales se croisent, il a été montré que celui qui passait second contribuait plus à l'évitement de collision [13]. Dans ce cas, un des deux individus fournit un effort supplémentaire pour éviter l'autre comme dans la situation où l'un des deux individus doit descendre du trottoir.

* jean-michel.auberlet@ifsttar.fr

Ainsi, dans notre contexte, un des piétons devra fournir un effort supplémentaire. De nombreux modèles prennent en compte des dimensions psychologiques [14, 15, 16] pour donner une personnalité à l'agent piéton. En sus de la personnalité, les émotions jouent également un rôle dans les interactions [17], et peuvent conduire à établir des rapports de dominance entre les agents en interaction. Cette dominance peut également être le résultat du rapport au pouvoir, à l'autorité du costume par exemple [18]. De plus le sexe des participants à la joute peut également être un facteur de décision, tout comme leur niveau d'attention ; sont-ils en train d'écrire un SMS par exemple ?

A partir de ces premiers travaux, nous avons sélectionné des facteurs impliqués dans la phase de perception. En effet, la plupart des modèles de déplacement piéton s'inscrivent dans le triptyque perception/décision/action. Parmi les modèles très utilisés, on peut citer le modèle Reciprocal Velocity Obstacles (RVO) [5]. Notre contribution vise donc à proposer un modèle de perception pour le modèle RVO dans sa déclinaison ORCA.

3 HYPOTHESE ET DEMARCHE ADOPTEE

Parmi les facteurs impliqués dans la perception, nous en avons sélectionné 3 :

- Le sexe : Le piéton est un homme ou une femme.
- Le niveau d'attention : Le piéton peut être distrait ou attentif à son environnement.
- La vitesse : Le piéton peut être lent ou rapide.

La dimension visuelle de ces facteurs les rend facilement représentables dans une animation 3D de joutes urbaines. De plus leur niveau de subjectivité est moindre que des paramètres comme la colère ou la joie par exemple, dont la perception peut énormément varier d'une personne à l'autre. Finalement, les trois facteurs choisis permettent une première caractérisation de l'attitude du piéton. En effet, notre comportement n'est pas le même lorsque nous croisons sur un trottoir une personne qui marche rapidement ou au contraire un individu qui paraît complètement distrait. Dans cette contribution, par souci de simplification du modèle, nous avons établi deux états possibles pour chacun de ces facteurs. Ils permettront d'agir sur les distances interpersonnelles et les distances d'anticipation de chaque individu d'une part, et sur leur niveau de collaboration dans le partage de l'évitement d'autre part.

Pour élaborer notre modèle, nous avons suivi un processus en 3 étapes. La première a consisté à évaluer l'impact de chacun des 3 facteurs considérés par le biais d'un questionnaire montrant des pré-joutes urbaines dans lesquelles chacun des deux piétons est caractérisé par ces 3 facteurs. La deuxième a permis d'établir des fonctions perceptives, qui ont été intégrées dans le modèle ORCA, et de vérifier la consistance des joutes par rapport aux évaluations issues de l'étape 1. Enfin la dernière étape a permis de vérifier que les joutes urbaines produites par notre modèle étaient considérées comme réalistes.

4 IMPACT DE FACTEURS SUR LA DECISION DE DESCENTE DE TROTTOIR

Dans cette étude, nous avons voulu identifier et évaluer les facteurs les plus influents impliqués dans la prise de décision de descendre ou non d'un trottoir étroit. Nous avons donc élaboré des joutes urbaines 3D pour les présenter à des sujets afin de questionner leur ressenti et leurs motivations. Similairement à l'étude Maxime Charles [1], nous avons montré les joutes urbaines présentées pour l'observateur avec un point de vue correspondant à une position sur le trottoir opposé. Les 8 personnages (Figure 2) ont été réalisés grâce à AutoDesk Character Generator [19]. Nous avons ensuite utilisé Mixamo [20] pour associer les animations adaptées à chaque personnage.



Figure 2: Exemples de 4 Personnages parmi les 8 profils.

Le contexte du trottoir étroit, et donc du mur ou de la façade qui borde le trottoir nous oblige à considérer le facteur de localisation, à savoir si le personnage vient de la gauche ou de la droite. Ainsi, nous avons 8 profils de piéton, représentant en tout 64 joutes urbaines possibles.

Pour connaître l'importance effective de chacun de nos 3 facteurs, auxquels s'ajoutent le paramètre de localisation, nous avons soumis à des sujets une série de 8 vidéos, choisies aléatoirement parmi l'ensemble des 64 joutes possibles. Chaque vidéo est une animation 3D, qui présente une situation de rencontre entre deux personnages. Les deux personnages avancent le long d'un trottoir et arrivent face-à-face. La vidéo est coupée avant qu'ils n'entament la manœuvre d'évitement. Les vidéos durent en moyenne 4 secondes, et laissent le temps au sujet de voir les caractéristiques de chacun des deux piétons. Une fois la vidéo visionnée, le sujet doit exprimer, pour chaque piéton, sa propension à descendre du trottoir dans ce type de rencontre à l'aide une échelle de Likert en 7 points (de « pas du tout » à « tout à fait »). A la fin du questionnaire, le sujet évalue ce qui est le plus important pour lui pour décider de descendre du trottoir ou pas (le sexe, le niveau d'attention et la vitesse) à l'aide également d'une échelle de Likert en 7 points (de « pas du tout » à « tout à fait »). Le questionnaire élaboré à l'aide de GoogleForm a été diffusé pendant 1 semaine et 85 personnes ont complété ce questionnaire. Les réponses ont été analysées grâce à des tests de Mann-Whitney et du $\chi 2$.

Les analyses révèlent qu'il n'y pas d'effet de la localisation (arrivant de la gauche ou de la droite) sur la décision de descendre du trottoir. De même, le sexe des personnages n'intervient pas dans les évaluations.

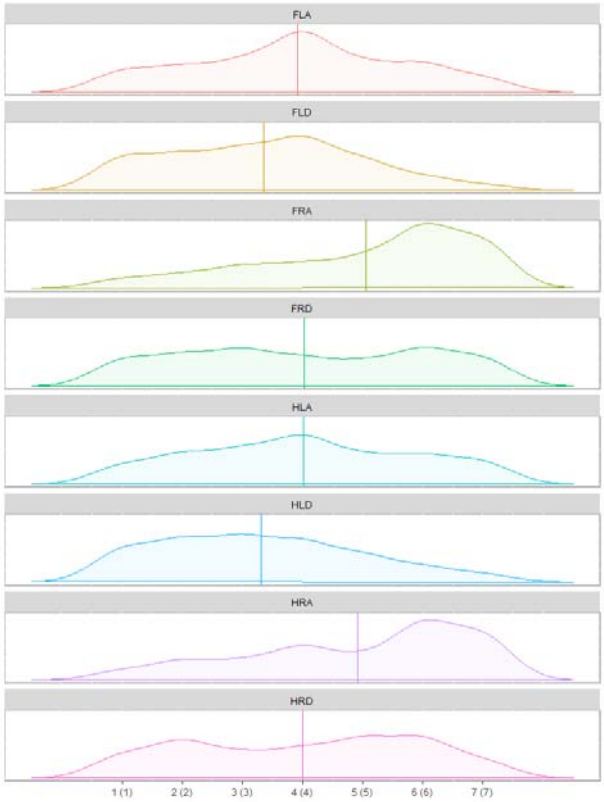


Figure 3: Tendances à descendre des 8 profils de personnages caractérisés par le sexe, la vitesse et le niveau d'attention (Femme / Homme, Lent / Rapide ; Attentif / Distrait).

Les tests montrent que la vitesse et le niveau d'attention sont les facteurs les plus influents dans le face-à-face de piétons sur un trottoir étroit. Il reste toutefois une interrogation lors de rencontres de piétons attentifs et lents avec des piétons distraits et rapides, les analyses ne permettent de trancher dans ce cas précis en faveur de l'un ou l'autre des facteurs.

5 MODELE DE PERCEPTION

Le modèle utilisé pour réaliser les déplacements de nos agents piétons est le modèle ORCA [5]. Ce modèle très utilisé par la communauté d'informatique graphique et de réalité virtuelle est un modèle basé vitesse, c'est-à-dire qu'il calcule une vitesse à partir des positions et des vitesses des obstacles perçues, mobiles ou non. Nous n'allons pas ici présenter ce modèle en détails mais plutôt quelques limites et préciser ce que nous allons modifier dans ce modèle.

La principale limite de ce modèle est le choix fait par ses concepteurs de privilégier un évitement par la droite. Autrement dit, dans notre cas, ce serait toujours le même personnage qui descendrait du trottoir indépendamment de ses caractéristiques propres. Nous avons modifié l'algorithme de manière à pouvoir permettre à nos agents piétons un évitement par la gauche selon le contexte rencontré.

Pour pouvoir prendre en compte les facteurs influents identifiés à l'issue de la première expérimentation, nous avons sélectionné les paramètres et les variables du modèle qui pouvaient être associés à ces facteurs, de manière à pouvoir créer des profils d'agents.

Le premier facteur concerné est le niveau d'attention, que nous avons assimilé au paramètre TimeHorizon du modèle ORCA, paramètre qui permet à l'agent piéton de considérer qu'un objet vu est en interaction avec lui. Une valeur faible de ce paramètre traduit donc une prise en compte tardive de l'interaction, et une valeur élevée, une anticipation de l'interaction. Par ailleurs, comme la même importance est attribuée, d'après les questionnaires de la première étude, à la vitesse de l'agent, le paramètre de TimeHorizon est également affecté par le niveau de vitesse de l'agent (Tableau 1). Notre modèle est ainsi basé sur la notion de score [21].

```
TimeHorizon ← 1.0 sec
if (maxSpeed_Level = high) then
    TimeHorizon ← TimeHorizon + 1.0
end if
if (attention_level = high) then
    TimeHorizon ← TimeHorizon + 1.0
end if
```

Tableau 1 : calcul de la valeur de du paramètre TimeHorizon en fonction du profil de l'agent piéton (niveau d'attention, niveau de vitesse)

A ce stade, chaque agent perçoit ou non l'autre agent, et en fonction de ses propres paramètres et de ceux perçus chez autrui, il peut décider de sa trajectoire, c'est-à-dire de descendre ou non du trottoir. Cette décision est le résultat de la comparaison des scores de Timehorizon. Nous faisons ici l'hypothèse que le score de l'agent perçu est accessible car ce score dépend uniquement de facteurs visibles et évaluables (niveau d'attention et vitesse). Nous avons également fait une deuxième hypothèse : en cas d'égalité de score, l'évitement naturel du modèle ORCA, évitement par la droite sera conservé.

La deuxième étape de notre modèle a consisté à modifier la manière d'éviter la collision dans le modèle ORCA (Tableau 2). Dans ce modèle, il existe un paramètre de partage d'effort qui est par défaut à 0,5 ; l'idée des concepteurs étant que l'évitement de la collision est pris en charge au même niveau par les deux agents impliqués dans la collision potentielle.

```
sharing effort ← 0.5
TH1 ← Agent.TimeHorizon
TH2 ← OtherAgent.TimeHorizon
if (TH1 < TH2) then
    sharing effort  ← 0.3
end if
if (TH1 > TH2) then
    sharing effort ← 0.7
end if
if  (Collision) then
    if ((sharing effort  = 0.7 & Wall on the right) ||
(sharing effort  = 0.3 & Wall on the left)) then
        Turn Left
    else
        Turn Right
    end if
end if
```

Tableau 2 : Algorithme de choix de direction pour l'évitement de collision

Dans notre contexte du trottoir étroit bordé par un mur ou une façade, nous avons modifié le partage de l'effort mais également le choix par défaut de la direction d'évitement. Ainsi, chaque agent peut décider de descendre ou non du trottoir en fonction du contexte rencontré, à savoir avec qui (comparaison des profils), et comment (où est la chaussée par rapport à la trajectoire initiale).

Nous avons ensuite vérifié que les 64 joutes possibles pour 8 profils produisaient les résultats attendus à l'issue de la première expérimentation

6 VALIDATION

Nous avons mis au point une deuxième étude pour vérifier que notre modèle permettait de produire des joutes urbaines répondant aux attentes exprimées lors de la première étude. Nous avons donc élaboré un deuxième questionnaire présentant une série de 8 vidéos présentant cette fois-ci la joute complète. Le sujet était ensuite interrogé sur la vraisemblance de la joute à l'aide d'une échelle de Likert en 5 points (de « pas crédible » à « très crédible »).

Toutefois, pour vérifier notre modèle, nous avons remplacé l'une des 8 vidéos dans chaque série par une vidéo montrant une joute urbaine dont l'issue est l'exact opposé de ce que notre modèle produit. Les participants aux questionnaire devront noter une note de crédibilité à ces « fausses » vidéos comme s'l s'agissait de « vraies » vidéos. Ainsi nous pourrons analyser la crédibilité des joutes en comparant, en particulier les « vraies » et les « fausses » joutes pour des situations identiques.

Notre questionnaire a été diffusé pendant une semaine, et 83 personnes ont complété le questionnaire.

Le premier résultat montre que les vidéos de joutes réalisées grâce à notre modèle sont globalement perçues comme étant plus crédibles que leur équivalent faux. Le résultat du test de Mann-Whitney (W= 18118, p-value=2,06 10^{-5}) effectué sur les deux répartitions (Figure 4) donne une p-value très inférieure à 0,05. Il s'agit là d'une première indication de la consistance de notre modèle.

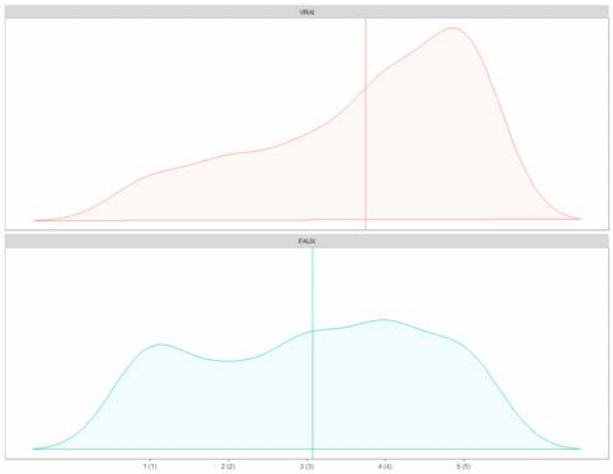


Figure 4: Répartitions *des notes de crédibilité pour les joutes produites par notre modèle (haut), et pour les « fausses » joutes (bas).*

Le deuxième résultat montre que l'analyse de la répartition des notes de crédibilité pour l'ensemble des joutes produites par notre modèle donne une note médiane de 4/5. Ce résultat tend à démontrer que nos joutes urbaines correspondent aux attentes exprimées lors de la première expérimentation.

7 CONCLUSION

Ces premiers travaux ont permis de concevoir et mettre en œuvre un modèle de perception pour le déplacement piéton dans le contexte de face-à-face sur un trottoir étroit. Ce modèle perceptif s'appuie une analyse de facteurs considérés comme influents par un ensemble de sujets. Il constitue ainsi les bases de futurs modèles pouvant prendre en compte des facteurs psycho-sociaux dans le cadre des déplacements piétons.

Les principales limites de cette étude concernent la présence ou non du trafic routier. En effet, le fait de faire face ou non au trafic routier peut être un facteur dans le prise de décision. De manière similaire l'environnement bâti ou l'environnement routier (zone 30 par exemple) joue certainement un rôle dans les joutes urbaines. En termes de perspectives, il serait intéressant d'étudier l'influence du point de vue de l'observateur dans notre étude. Son analyse et ses évaluations pourraient varier en fonction de son point de vue, soit à la troisième personne soit à la première personne, voire d'être acteur de la joute.

REFERENCES

[1] Charles, M. (2013). Les joutes urbaines : enjeux et impressions des piétons lors des croisements sur les trottoirs. In Cloutier MS et al. La ville sous nos pieds, actes du 4ème Colloque International Francophone COPIE, Montréal, INRS (pp. 99-105).

[2] Rosey, F., & Auberlet, JM. Driving simulator configuration impacts drivers' behavior and control performance: An example with studies of a rural intersection. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 27.

[3] Nguyen-Thong, D., & Vienne, F. 2016. *IFSTTAR Street-Crossing Simulator: Technical Overview and Applications in Road Safety Research*. In Proceedings of the Driving Simulation Conference Europe VR 2016, 2p. Paris, France.

[4] Olivier, AH., Bruneau, J., Kulpa, R., & Pettré, J. 2017. *Walking with virtual people: Evaluation of locomotion interfaces in dynamic environments*. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics.

[5] Van Den Berg, J., Guy, S., Lin, M., & Manocha, D. 2011. Reciprocal n-body collision avoidance. Robotics Research 2011, 3–19.

[6] The hidden dimension, Hall, E. T. (1966), Garden City, N.Y., Anchor Books.

[7] Locomotor avoidance behaviours during a visually guided task involving an approaching object, Cinelli, Michael E. et al. Gait & Posture , Volume 28, Issue 4 , 596 – 601

[8] The Sidewalk Problem : An examination of the avoidance behaviours employed during a head-on collision course with an approaching person, Pfaff, Lana M.

[9] Julien Pettré, Jan Ondřej, Anne-Hélène Olivier, Armel Cretual, and Stéphane Donikian. 2009. Experiment-based modeling, simulation and validation of interactions between virtual walkers. In Proceedings of the 2009 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation (SCA '09), Dieter Fellner and Stephen Spencer (Eds.). ACM, New York, NY, USA, 189-198.

[10] Jan Ondrej, Julien Pettré, Anne-Hélène Olivier, Stéphane Donikian. A Synthetic-Vision Based Steering Approach for Crowd Simulation. ACM Transactions on Graphics, Association for Computing Machinery, 2010, SIGGRAPH 2010 Papers, 4 (123)

[11] Park, J. H., Rojas, F. A., and Yang, H. S. 2013. A Collision Avoidance Behavior Model for Crowd Simulation based on Psychological Findings. Computer Animation and Virtual Worlds, vol. 24, no. 3--4, 173—183.

[12] Ma J., Song W.G., Lo S.M., Liao G.X., Yuen K.K. (2011) Experimental Investigation on the Pair Interaction Between Pedestrians. In: Peacock R., Kuligowski E., Averill J. (eds) Pedestrian and Evacuation Dynamics. Springer, Boston, MA

[13] Olivier et al. 2013 Olivier, A.H., Marin, A., Crétual, A., Berthoz, A., Pettré, J. " Collision avoidance between two walkers: role-dependent strategies ", Gait & Posture 2013, vol. 38, pages 751-756.

[14] How to model pedestrians and cyclists interactions with out-of-the-box features of Vissim, Jonas Kupfer- schmid (2016). Available at :https ://blogs.ethz.ch/engagingmobility/2016/07/10/how-to-model-pedestrians-and-cyclists- interactions-with-out-of-the-box-features-of-vissim/

[15] Lu, X., Wang, Z., Xu, M., Chen, W., and Deng, Z. (2014b). A personality model for animating heterogeneous traffic behaviors. Comput. Animat. Virtual Worlds 25, 363–373.

[16] Funda Durupinar , Nuria Pelechano , Jan Allbeck , Ugur Gudukbay , Norman I. Badler, How the Ocean Personality Model Affects the Perception of Crowds, IEEE Computer Graphics and Applications, v.31 n.3, p.22-31, May 2011.

[17] Ochs M., Sabouret N., Corruble V. (2009). Simulation of the dynamics of non-player characters emotions and social relations in games. Transactions on Computational Intelligence and AI in Games

[18] Bushman, B. J. 1988. The effects of apparel on compliance: A field experiment with a female authority figure. Personality and Social Psychology Bulletin, 14: 459–467.).

[19] Autodesk Character Generator, web-based service that can be used to reate, customize, and download rigged 3D characters. Available at :https ://charactergenerator.autodesk.com/

[20] Mixamo, Web-based services for 3D character animation. Available at :https ://www.mixamo.com/#/

[21] Wicramasinghe, V., & Dissanayake, S. (2017). Evaluation of pedestrians' sidewalk behavior in developing countries. Transportation research procedia, 25, 4068-4078.