

DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **06 décembre 2024**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur Oscar DUFOUR**

Titre de la thèse : Modèles d'agents améliorés pour les foules de piétons : analyse des données empiriques de la Fête des Lumières et affinement des interactions mécaniques, des formes de piétons et des aspects décisionnels.

Résumé



Avec la multiplication des événements de masse, la dynamique des foules est devenue un sujet d'étude de plus en plus important. Comprendre comment les groupes se déplacent et évoluent dans l'espace, en particulier à des densités moyennes et élevées, est crucial pour l'organisation de tels événements. La première section de cette thèse de doctorat présente l'un des premiers ensembles de données de terrain sur les foules denses. Cet ensemble comprend aussi bien des trajectoires de piétons que des données GPS et de contact collectées lors de la Fête des Lumières 2022 à Lyon. Je développe ensuite un cadre théorique de modélisation de la dynamique des foules qui intègre une composante décisionnelle, où les piétons ajustent régulièrement leur vitesse désirée, et une couche mécanique qui confronte ces décisions à la réalité physique environnante. La plupart des modèles existants échouent à reproduire fidèlement les interactions mécaniques, car ils reposent souvent sur des forces d'interaction idéalisées et des formes circulaires simplifiées. En m'inspirant de la littérature scientifique sur la dynamique granulaire, j'intègre aux équations newtoniennes, des interactions mécaniques plus réalistes, en utilisant des ressorts amortis à la fois tangentiels et normaux aux surfaces de contact. J'utilise de plus des données anthropométriques pour représenter le plus fidèlement possible le

contour humain, en deux dimensions, plutôt que de recourir à de simples disques. Cela me permet de créer une foule synthétique qui intègre les hétérogénéités individuelles. En ce qui concerne la composante décisionnelle, les piétons s'efforcent de sélectionner une vitesse souhaitée tout en tenant compte de diverses contraintes métaboliques, physiques et psychologiques, la plupart étayées par des données empiriques. Ces contraintes incluent : une contrainte de destination qui prend en compte l'objectif d'atteindre un lieu spécifique ; des limites biomécaniques liées aux capacités musculaires et articulaires des piétons ; un coût lié à la différence d'alignement entre le corps et la direction de mouvement souhaité ; une volonté de préserver sa bulle sociale, une zone que les individus souhaitent maintenir libre de toute intrusion, qu'il s'agisse d'obstacles ou de piétons voisins ; une intention d'éviter les collisions lors d'un déplacement, basée sur des estimations de temps avant collision. Cet espace de confort est modélisé par un champ scalaire d'inconfort dont les courbes de niveau ne sont pas circulaires. Après validation dans des situations simples impliquant des paires de piétons ou un piéton près d'un mur, je compare avec succès les prédictions du modèle à des expériences impliquant la propagation d'une poussée à travers une rangée de personnes, des évacuations, et des mouvements de faufilement entre murs et piétons. J'étudie enfin les phénomènes collectifs qui se manifestent non seulement dans les foules, mais aussi dans le trafic véhiculaire, en particulier les ondes stop-and-go résultant de la croissance d'instabilités dynamiques. Pour mieux comprendre ces phénomènes, je simule un modèle de suivi automobile en file qui repose sur le maintien d'un temps de freinage constant avec le véhicule suivant. Bien que la version déterministe de ce modèle soit inconditionnellement stable, l'ajout de bruit entraîne de manière inattendue l'apparition d'ondes stop-and-go. J'explique cette observation en utilisant une analogie avec le pendule de Kapitza, qui développe un nouvel état stationnaire sous l'effet de fortes vibrations. Plus précisément, une discontinuité d'un paramètre d'ordre apparaît lorsque le niveau de bruit ou la densité dépasse un certain seuil, faisant écho à une transition liquide-gaz. Mes recherches sur la dynamique des foules soulignent l'importance d'intégrer les processus décisionnels aux interactions mécaniques pour approfondir notre compréhension des comportements collectifs complexes, en particulier dans les environnements bondés.

Mots-clés :

physique,dynamique des
foules,modélisation,prise de
décision,instabilités
dynamiques,expériences de terrain