

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

Date de la soutenance : **20 septembre 2024**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur NICOLAS Alexandre**

Titre des travaux : « *Flux et écoulements complexes à travers le prisme de la physique statistique: des solides désordonnés aux véhicules, en passant par les foules piétonnes* »



Résumé

Mes travaux de recherche aspirent à apporter un éclairage physique et à modéliser les flux et l'écoulement de divers systèmes et matériaux complexes, qui étaient traditionnellement, ou sont encore, du ressort de disciplines autres que la physique (*science des matériaux ou ingénierie du transport, par exemple*). En adoptant un regard de physicien statisticien, il s'agit donc de comprendre l'émergence de comportements collectifs *a priori* complexes dans ces systèmes à partir de schémas microscopiques simples impliquant un nombre limité de paramètres ou d' "ingrédients".

Plus précisément, doté d'un bagage en physique statistique, physique de la matière molle et en modélisation numérique, j'ai articulé mon activité de recherche autour de deux grands volets :

1. la modélisation de la déformation et de l'écoulement de solides amorphes (ou, plus généralement, de fluides complexes).

Ce volet a permis d'approfondir la compréhension de l'écoulement de solides amorphes, une vaste catégorie de matériaux solides, mais à la structure désordonnée. En particulier, avec l'ambition de réduire l'écart entre les modèles élastoplastiques opérant à l'échelle mésoscopique et les simulations particulières, mes travaux ont affiné la caractérisation des réarrangements plastiques dans ces solides sous déformation et établi quantitativement l'impact sur leur rhéologie de l'inertie ou de l'amortissement, à l'échelle microscopique. Par ailleurs, j'ai développé un modèle de "pièges" pour l'écoulement de granulaires en sortie d'un silo qui, en dépit de sa simplicité, rend compte de nombre de mesures réelles, et réconcilie des observations sur le blocage de silo en phase de décharge et son déblocage sous l'effet de vibrations, observations jugées jusqu'alors déconnectées.

2. l'approche par le prisme de la physique de problèmes de mobilité humaine, notamment de dynamique piétonne.

En situation compétitive (dans certains cas d'extrême urgence, par exemple), la dynamique d'évacuation d'une foule de piétons à travers une porte présente des similitudes avec la décharge d'un silo à orifice étroit. Les travaux que j'ai menés avec mes collaborateurs, combinant expériences contrôlées, modélisation et développements théoriques, ont étudié jusqu'à quel point cette ressemblance demeure pertinente. Il se trouve que la présence de comportements hétérogènes ne la remet pas en cause en situation d'évacuation, l'effet des comportements individuels se reflétant surtout sur la densité au voisinage de la porte, mais qu'en revanche l'analogie granulaire ne s'étend pas aux foules denses plus généralement. En particulier, la présence manifeste d'anticipation dans les scénarios de traversée de foules bat en brèche cette idée d'analogie et, avec elle, des modèles de dynamique piétonne d'utilisation pourtant courante.

Face à ce constat, nous avons développé une nouvelle branche de modèles piétons, rendant mieux compte des effets d'anticipation. Le modèle en résultant est muni d'une structure distinguant bien la couche décisionnelle à l'œuvre dans le choix d'une vitesse, et la couche mécanique, où agissent aussi les forces de contact entre piétons; il s'est révélé d'une efficacité remarquable pour prédire les trajectoires de piétons dans une large gamme de situations, jusqu'à saisir semi-quantitativement l'effet de la distraction par les smartphones.

En outre, nos recherches sur les piétons ont pris un tournant épidémiologique à la survenue de la pandémie de COVID-19, où nous avons mis au point une méthodologie et des modèles pour coupler des trajectoires piétonnes empiriques avec des modèles de propagation d'aérosols et gouttelettes respiratoires, afin d'estimer les risques de transmission virale au sein d'une foule.

Au cours des dernières années, mon activité de la dynamique piétonne s'est considérablement élargie, pour aborder d'autres facettes de la mobilité urbaine, notamment le trafic motorisé. En particulier, la question de la recherche de stationnement, levier d'action majeur des métropoles occidentales pour inciter à des changements de mode de transport, a constitué un riche objet d'études; une de nos premières ambitions en la matière était d'expliquer l'apparente contradiction entre des taux d'occupation des places raisonnables et des temps de recherche très longs observés. Un cadre théorique a été échauffé avec succès pour s'attaquer à ce problème, en combinant physique statistique et théorie des graphes.

En somme, les travaux se sont maintenus sur une ligne de crête entre des avancées très fondamentales, dominantes, et leur application à des enjeux sociétaux. Se sont ainsi dessinées diverses lignes de convergences, entre les deux volets thématiques de ma recherche d'abord, entre les questions de mobilité urbaine et la physique de la matière active, ensuite. Ces convergences et les perspectives qui s'ouvrent dans les années à venir sont au cœur du dernier chapitre de mon mémoire, où (sous le chapeau d'une ambition commune d'élaborer un cadre physique pour les systèmes où opèrent un contrôle humain ou bien des décisions) il est question de contrôle de forme dans les matériaux désordonnés, de physique statistique d'assemblées d'entités dotées de facultés de décision et d'applications pour rendre les modes actifs moins vulnérables aux perturbations dans la ville de demain.