

Modélisation et simulation du trafic routier

Nous sommes tous les jours confrontés au trafic et son évolution semble aléatoire : une route plus longue est parfois plus rapide, des bouchons se forment sans raison apparente... C'est la volonté de comprendre le trafic, de le modéliser et de le visualiser qui m'a poussé à choisir ce sujet.

Le trafic que l'on cherche à étudier est constitué de différents moyens de transport : Bus, voitures, motos...

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

- BRETON Romain

Positionnement thématique (phase 2)

INFORMATIQUE (Informatique pratique), INFORMATIQUE (Informatique Théorique), MATHEMATIQUES (Mathématiques Appliquées).

Mots-clés (phase 2)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Modélisation</i>	<i>Modelling</i>
<i>Trafic routier</i>	<i>Road traffic</i>
<i>Simulation informatique</i>	<i>Computer simulation</i>
<i>Automate cellulaire</i>	<i>Cellular automaton</i>
<i>Algorithmique</i>	<i>Algorithmic</i>

Bibliographie commentée

Le nombre de voiture a augmenté de façon exponentielle en très peu de temps et cela entraîne une complexité du trafic plus importante. L'évolution du trafic semble parfois aléatoire : des embouteillages se forment alors qu'aucun facteur extérieur (accidents, travaux...) n'influe sur l'évolution du trafic [1]. La compréhension du trafic a un enjeu écologique, économique et social; c'est pourquoi il est nécessaire de trouver un moyen de le modéliser et de le simuler pour le comprendre.

La compréhension du trafic nécessite un travail de modélisation. Il est possible de le modéliser de plusieurs manières: à l'aide de la mécanique des fluides [2], où l'on étudie le trafic de manière macroscopique en faisant l'analogie avec un écoulement de fluides, mais aussi avec l'aide de l'informatique ou plus récemment avec la théorie des jeux.

En informatique, le modèle qui semble le plus adapté est celui de l'automate cellulaire : c'est une grille constituée de cellules "mortes" ou "vivantes", dont l'évolution est régit par des règles simples

qui déterminent l'état de chaque case à l'instant $t+1$ par rapport à celui de leurs voisines à l'instant t [3]. Ce principe a été introduit par Von Neumann dans les années 1940 et a été adopté par deux chercheurs allemands en 1990 pour l'étude de la circulation: Kai Nagel et Michael Schreckenberg. Les véhicules sont modélisés par des cellules vivantes qui avancent de v cases par unité de temps si la disposition des voitures alentours le permet. Ce modèle s'appuie sur quatre règles [4]:

1. La voiture accélère si elle n'a pas encore atteint la vitesse maximale.
2. La voiture décélère si la distance avec la voiture suivante ne suffit pas.
3. La voiture freine avec une probabilité de p .
4. Les véhicules avancent.

Ce modèle permet de mettre en évidence la formation de "bouchons fantômes" et "bouchons accordéon". On pourra mesurer la congestion du trafic en fonction de nombreux facteurs afin de trouver les meilleures conditions de circulation pour une route donnée et tracer le diagramme fondamental du trafic, c'est à dire tracer la vitesse moyenne en fonction de la concentration de voitures.

Cependant, il n'est pas évident de prendre en compte les choix des automobilistes dans le modèle précédent. Un conducteur peut prendre des décisions pour optimiser son trajet au détriment de l'optimum collectif, en forçant le passage dans une voie d'insertion par exemple. La théorie des jeux permet d'étudier cette vision du trafic routier[7].

En effet, celle-ci permet d'étudier les interactions entre les automobilistes, alors considérés comme des joueurs. Par exemple, l'interaction entre deux véhicules lors d'une insertion sur l'autoroute[5], ou lors d'un croisement à un carrefour [6]. Chaque conducteur tente de prendre la meilleure décision en prédisant l'action de l'autre. Le but étant d'atteindre un équilibre de Nash. C'est une situation où un équilibre stratégique est atteint : aucun joueur n'a alors intérêt de changer sa stratégie sinon cela diminuerait ses gains et les autres joueurs prendraient l'avantage sur lui.

A plus grande échelle, le comportement de chacun des conducteurs a une grande influence sur le trafic. En effet, les automobilistes se comportent de manière à minimiser leur temps passé sur la route en prenant les chemins les plus courts ou les plus rapides : ils cherchent un optimum personnel mais celui-ci est souvent éloigné d'une situation optimale du point de vue global (optimum social). Le « prix de l'anarchie » est un concept permettant de comparer ces deux optima.

Paradoxalement, la fermeture d'une route permet de mieux répartir les véhicules sur les autres voies et ainsi on peut atteindre un optimum social qui permettrait de fluidifier le trafic. C'est le paradoxe de Braess[8], prouvé scientifiquement en 1968 par le mathématicien Dietrich Braess. Il a été mis en évidence en 1990 lors de la fermeture de la 42ème rue à New York. Cela a conduit à la réduction de la congestion autour de cette avenue, alors que le contraire était attendu.

Problématique retenue

Comment modéliser et simuler le trafic routier ?

Quelle est la cause des embouteillages ?

Comment fluidifier la circulation ?

Comment optimiser la circulation en fonction de la vitesse, du nombre de voies et de la signalisation ?

Objectifs du TIPE

Trouver un moyen de représenter une route et des voitures en Python.

Simuler la circulation de n voitures dans une route formant une boucle.

Simuler la circulation de n voitures sur une route à plusieurs voies.

Afficher graphiquement la simulation.

Etudier la simulation (mesures de la densité, de la congestion, tracé du diagramme fondamental).

Optimiser le trafic sur une route donnée.

Abstract

The number of cars in circulation, the price of fuel and the traffic-related CO₂ emission rate have increased overall for more than a century. The optimization of road traffic then has an economic, social and ecological stake. These facts lead us to adress the following question: How road traffic could be optimized ? To answer this question, we simulated road traffic by computer to highlight ghost traffic jams and draw a fundamental diagram. This led us to think of solutions to improve the flow of traffic and in particular to show the interest and efficiency that autonomous cars could have.

Références bibliographiques (phase 2)

[1] CGP GREY : The simple solution to traffic : <https://www.youtube.com/watch?v=iHzzSao6ypE> (consulté le 20/01/2019)

[2] Sujet de concours Centrale - Physique PSI 2005 : <https://www.concours-centrale-supelec.fr/CentraleSupelec/2005/PSI/sujets/phys.pdf> (consulté le 26/09/2018)

[3] JEAN MAIRESSE, IRÈNE MARCOVICI, MARC MONTICELLI : Automates cellulaires et correction d'erreurs : <https://images.math.cnrs.fr/Automates-cellulaires-et-correction-d-erreurs> (consulté le 25/11/2018)

[4] CHARLES GRELOIS : Etude du trafic routier par deux méthodes :

<http://research.grellois.fr/doc/ens.pdf> (consulté le 13/01/2019)

[5] ALEXIS CHAMPION : Mécanisme de coordination multi-agent fondé sur des jeux: application à la simulation comportementale de trafic routier en situation de carrefour :

<http://www.lirmm.fr/~jq/pmwiki/uploads/thAlexisChampion03.pdf> (consulté le 15/12/2018)

[6] JYDA MINT MOUSTAPHA : Modélisation mathématique et simulation du trafic routier: analyse statistique de modèle d'insertion et simulation probabiliste d'un modèle cinétique :

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01144601/document> (consulté le 07/01/2019)

[7] DAVID EASLEY ET JON KLEINBERG : Modeling network traffic using game theory :

<https://www.cs.cornell.edu/home/kleinber/networks-book/networks-book-ch08.pdf> (consulté le 15/12/2019)

[8] ETIENNE GHYS : Le prix-de-l'anarchie : <https://images.math.cnrs.fr/Le-prix-de-l-anarchie.html#nb1> (consulté le 18/09/2018)

Références bibliographiques (phase 3)

[1] AUDREY MICHARD : Le meilleur du Monde de Jamy - Comment se forment les bouchons ? :

<https://www.youtube.com/watch?v=wHz6S2dbYb4>

DOT

[1] *Début septembre 2018 : Choix d'un modèle pour représenter le trafic routier et mise en place du programme informatique.*

[2] *Fin novembre 2018 : Critique du premier modèle. Réflexion et choix d'un nouveau modèle.*

[3] *Janvier 2019 : Programmation d'une voie de circulation à sens unique, d'un feu tricolore et de l'affichage graphique.*

[4] *Février 2019 : Programmation d'une route à sens unique contenant plusieurs voies.*

[5] *Mars 2019 : Simulation de phénomènes explicités dans la vidéo [1] (phase (2)).*

[6] *Avril 2019 : Simulation numérique de l'expérience visant à mettre en évidence les embouteillages fantômes [1] (phase (3)).*

[7] *Fin mai 2019: Tracé du diagramme fondamental du trafic routier et comparaison de celui-ci avec un autre extrait de la littérature.*