

OPTIMISATION DU TRAFIC ROUTIER DANS LES PARKINGS

De plus en plus les villes réduisent, voire interdisent l'accès au centre-ville pour les voitures. De grands parkings sont alors mis en disposition dans leur périphérie pour ensuite utiliser des transports en commun afin de rejoindre l'hypercentre.

Habitant aux abords d'un parking très sollicité et embouteillé, je me suis toujours demandé comment il pourrait être perfectionné. La remise en cause de son infrastructure m'a tout de suite intéressé, et j'ai donc décidé de me consacrer à cette étude permettant de réduire perte de temps, accidents et pollution.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHÉMATIQUES (Géométrie), MATHÉMATIQUES (Autres).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Flux de circulation</i>	<i>Traffic flow</i>
<i>Route embouteillée</i>	<i>Crowded road</i>
<i>Optimisation</i>	<i>Optimization</i>
<i>Automate cellulaire</i>	<i>Cellular automaton</i>
<i>Algorithme génétique</i>	<i>Genetic algorithm</i>

Bibliographie commentée

Le parc automobile français (le nombre de véhicules immatriculés en France) ne cesse de s'accroître, s'élevant de nos jours à 41 millions de véhicules [1]. Mieux comprendre la circulation permettrait ainsi d'optimiser les infrastructures en jeu, notamment dans le but de réduire l'encombrement des routes mais aussi des parkings. Dès lors, différentes méthodes de modélisation furent mise en point pour étudier ce phénomène.

Les mathématiciens Lighthill et Whitham ont proposé un premier modèle macroscopique pour étudier le mouvement général des véhicules sur les routes en 1955, complété par Paul Irving Richards en 1956 [2]. Ce modèle utilise la loi de conservation de la masse pour décrire le flux de véhicules comme continu et se concentre sur la densité de véhicules en utilisant des équations de la mécanique des fluides. Il est résumé en une équation aux dérivées partielles reliant la variation temporelle de la densité à la variation spatiale du débit des véhicules [3]. De manière analogue, cette équation est similaire pour les parkings [4] et peut être résolue numériquement en utilisant une discrétisation en temps et en espace avec différentes approximations, la plus courante étant celle des différences finies [5].

Le trafic routier dans un parking peut être aussi modélisé par un automate cellulaire, permettant une étude microscopique du trafic en étudiant séparément chaque voiture. On peut représenter le parking en un tableau, dans lequel chaque case (cellule) a un état pouvant évoluer au cours du temps selon son voisinage. L'état en question peut être, par exemple, si une voiture occupe la case ou non [6]. Nous avons alors au cours du temps une évolution du trafic à partir d'une disposition initiale et des règles de circulation modélisées.

Le modèle de ce type le plus célèbre fut introduit dans les années 1990 par Kai Nagel et Michael Schreckenberg. Ce dernier décrit le trafic sur une route à voie unique, et fut le premier à prendre en compte les comportements humains, parfois peu prévisibles, en y ajoutant des probabilités d'évolution, ce qui n'est pas négligeable dans l'étude de la circulation routière. Le modèle classique est décrit par quatre règles fondamentales appliquées à chacune des voitures. Pour une itération de temps, il y a d'abord la règle concernant l'accélération : le véhicule augmente sa vitesse s'il n'a pas atteint la vitesse maximale. Puis celle de freinage : si la vitesse du véhicule est supérieure à la distance qui le sépare du prochain, sa vitesse diminue. Ensuite le comportement (la réaction) du conducteur est modélisé : la vitesse diminue avec une probabilité de décélération. Enfin, après avoir appliqué ces règles à chacun des véhicules, on les déplace proportionnellement à la vitesse qu'ils ont. C'est ainsi qu'en réitérant ce procédé autant de fois que dure l'expérience, nous aurons une simulation du trafic routier en connaissant l'emplacement de chaque véhicule à tout moment. [7]

De plus, pour trouver une solution optimale concernant l'infrastructure d'un parking, des méthodes d'optimisation sont utilisées, comme les algorithmes génétiques. Ces derniers utilisent des concepts inspirés de la biologie, tels que la sélection naturelle et la reproduction [8]. En sélectionnant et en faisant évoluer les meilleurs parkings d'une population de parking, cet algorithme convergerait vers une solution optimale. L'un des défis est de définir un critère de notation pour comparer les différents parkings dans le but de garder le meilleur.

Problématique retenue

Pour une surface donnée, peut-on trouver la meilleure infrastructure d'un parking permettant à ses usagers de s'y garer et d'en ressortir le plus rapidement avec un algorithme génétique ?

Objectifs du TIPE

- Concevoir les différents comportements et règles de circulation dans un parking à appliquer aux véhicules simulés.
- Créer un programme simulant le trafic routier dans un parking avec une configuration donnée avec un automate cellulaire.
- Vérifier la cohérence entre la modélisation informatique et les situations réelles.
- Définir un critère de notation (un score) pour comparer les différents parkings.

- Créer un algorithme génétique pour des générations de parkings avec un agencement différent afin d'obtenir une configuration idéale.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] SERVICE DES DONNÉES ET ÉTUDES STATISTIQUES : Chiffres clés du transport :
<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2020-03/datalab-66-chiffres-cles-transport-edition-2020-mars2020.pdf>
- [2] M.J. Lighthill F.R.S ET G.B. WHITHAM : On kinematic waves II. A theory of traffic flow on long crowded roads :
http://users.physics.ucsd.edu/2018/Fall/physics218a/Whitham_Lighthill%20Traffic%20Waves.pdf
- [3] NICOLAS LAURENT-BROUTY : Modeling traffic on urban road networks with hyperbolic conservation laws : <https://hal.science/tel-02488804>
- [4] Variations autour du diagramme fondamental : <http://docinsa.insa-lyon.fr/these/2002/leclercq/annexe5.pdf>
- [5] J.J.I.M. VAN KAN : An introduction to the Finite Element Method :
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-1814-9_2
- [6] OLIVIER MAGEAU-PETRIN : Introduction aux automates cellulaires :
<https://www.spiria.com/fr/blogue/culture-geek/introduction-aux-automates-cellulaires/>
- [7] K. NAGEL ET M. SCHRECKENBERG : A cellular automaton model for freeway traffic :
<https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/246697/filename/ajp-jp1v2p2221.pdf>
- [8] T. VALLEE ET M. YILDIZOGLU : Présentation des algorithmes génétiques et de leurs applications en économie :
https://www.researchgate.net/publication/5085159_Presentation_des_algorithmes_genetiques_et_de_leurs_applications_en_economie

DOT

- [1] *Recherches bibliographiques sur les méthodes de simulation du trafic routier et découverte de l'automate cellulaire en septembre.*
- [2] *D'octobre à fin novembre, tentative puis abandon d'élaboration de règles pour respecter le code de la route sur un parking de forme quelconque.*
- [3] *En mi-décembre, étude de l'algorithme génétique dans le but de créer un programme visant à déterminer la configuration optimale d'un parking pour une taille donnée, plutôt que de simuler la circulation.*
- [4] *Établissement de différentes méthodes de mutation et de croisement pour des parkings d'une génération quelconque en janvier.*
- [5] *Fin février, développement de plusieurs fonctions 'score' afin d'établir un critère de comparaison pour classer des parkings donnés.*
- [6] *De mars à début mai, mise en forme des programmes Python pour déterminer, au moyen de différentes simulations, les procédés établis les plus adéquats.*
- [7] *Amélioration du code puis construction de graphiques présentant les statistiques des parkings*

obtenus, de fin mai à début juin. Tout ceci afin de vérifier à la fois la légitimité du critère de score utilisé et celle de l'algorithme lui-même.

Modélisation et optimisation d'un réseau ferroviaire

Dans notre société actuelle, les transports prennent une part très importante. En effet, les consciences évoluent et on cherche toujours à optimiser nos déplacements, que ce soit au niveau de la vitesse ou de la consommation énergétique. C'est pourquoi optimiser le réseau ferroviaire prend une place importante de nos jours.

Cependant, cette problématique n'est pas aisée à résoudre. Il faut pour cela prendre en compte les déplacements de population. Il serait donc intéressant d'étudier une simulation ferroviaire, reliant différents points d'intérêt au sein d'une même ville afin que le trajet soit optimal pour chaque usager.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

INFORMATIQUE (Informatique pratique), INFORMATIQUE (Informatique Théorique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Réseau ferroviaire</i>	<i>Railway network</i>
<i>Gare</i>	<i>Railway station</i>
<i>Voies ferrées</i>	<i>Railroads</i>
<i>Algorithme du plus court chemin</i>	<i>Shortest path algorithm</i>
<i>Parcours d'un graphe</i>	<i>Graph traversal</i>

Bibliographie commentée

Dès le début du 17e siècle, dans les mines de Newcastle, la présence de rails était déjà à souligner. Cependant ces derniers étaient utilisés uniquement pour divers chariots, transportant notamment du charbon, compte tenu de leur praticité. Près de deux siècles plus tard, des innovations technologiques permirent de développer ce moyen de locomotion. En effet, la mise en évidence des propriétés motrices de la vapeur d'eau ainsi que différentes expérimentations sur l'adhérence entre une roue métallique et un rail, ont posé les fondations des premières locomotives ainsi que d'un transport largement démocratisé encore aujourd'hui. Voyant le jour en plein cœur des années 1820, ces locomotives vécurent une évolution importante durant ces deux derniers siècles avec notamment l'apparition du premier train à grande vitesse au monde, le Shinkansen, au Japon au début des années 1960.[1]

Logiquement, ce moyen de locomotion, et ses diverses déclinaisons, désormais rapide, pratique et moins polluant que ses congénères que sont le bateau, l'avion ou encore la voiture, transporte un nombre important de passagers, ce qui a pour effet de rendre le trafic complexe. De plus en plus de gares ont ainsi vu le jour, et de fil en aiguille la France et le monde se sont transformés en un gigantesque réseau ferroviaire.[1]

Dans le but de fluidifier le trafic, l'optimisation du réseau est absolument nécessaire, et pour cela il faut être capable de déterminer le chemin optimal entre deux points d'intérêt dans le but de desservir efficacement les utilisateurs. En effet, différentes contraintes, comme la densité de population en gare, peuvent agir sur le temps d'arrêt du train en gare et ainsi causer différents retards sur la ligne mais également sur tout le réseau national [2]. Un réseau optimisé doit être mis en place, reliant différentes gares entre elles.

Ce réseau peut être modélisé par un graphe orienté pondéré. Le poids d'une arête représente, de manière générale, le coût dudit chemin. C'est-à-dire que plus un chemin possède un coût important, moins il sera intéressant pour l'utilisateur. On obtient ainsi un graphe représentant différents points d'intérêt, représentés par les sommets, et l'itinéraire reliant ces deux points sous la forme d'arêtes, pondérées par le coût entre ses deux extrémités [3]. Il est ainsi possible de déterminer le trajet optimal entre deux points d'intérêts, en travaillant avec des algorithmes de recherche d'un plus court chemin.

Pour déterminer ce trajet, différents algorithmes peuvent être employés, parmi eux, on peut y retrouver la méthode de Dijkstra ou A*. L'algorithme de Dijkstra détermine les sommets les moins coûteux à emprunter afin de se déplacer entre deux sommets reliés par une arête, et réalise alors un parcours de tout le graphe, ce qui peut s'apparenter à un parcours en largeur de ce dernier. Il établit ainsi la distance entre un point source et les différents autres points et nous donne donc le chemin optimal afin de se rendre à une destination donnée. Cette méthode de calcul est par conséquent idéale afin de représenter informatiquement certains phénomènes météorologiques comme des feux de forêts qui se répandent. A*, lui, à l'aide d'une heuristique, donnée représentant le coût estimé d'un chemin (comme la distance à vol d'oiseau par exemple), trouve le trajet le moins coûteux entre deux points d'intérêts préalablement définis.[4] Fort de cette information, A* est la plupart du temps plus efficace que Dijkstra afin de représenter, par exemple, des déplacements ordonnés de foule suivant un tracé logique

Problématique retenue

Optimiser un réseau ferroviaire afin de desservir au mieux la population en considérant quelques contraintes géographiques et environnementales

Objectifs du TIPE

Représenter informatiquement un réseau ferroviaire existant utilisable reliant différents points d'intérêts

Optimiser le réseau pour desservir la population le plus efficacement possible à l'aide d'un algorithme de recherche du plus court chemin

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] UNIVERSALIS : Histoire de la voie ferrée : « CHEMINS DE FER, un peu d'histoire » :
<https://www.universalis.fr/encyclopedie/chemins-de-fer/1-un-peu-d-histoire/>

- [2] FATMA ELLEUCH : Transférabilité d'une modélisation-simulation multi-agents : le comportement inter-gares des voyageurs de la SNCF lors des échanges quai-train : <https://theses.hal.science/tel-02137524/document>
- [3] Graphe Orienté : http://www-igm.univ-mlv.fr/~desar/Cours/M1-1_Optimisation_Combinatoire/chap1.pdf
- [4] DIAN RACHMAWATI ET LYSANDER GUSTIN : Analysis of Dijkstra's Algorithm and A* Algorithm in Shortest Path Problem : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1566/1/012061/pdf>

DOT

- [1] *Septembre - Octobre : Choix du sujet - Au début, le choix de l'algorithme génétique pour l'étude des réseaux ferroviaires est fait*
- [2] *Novembre : Décision d'abandonner le projet de l'algorithme génétique car manque de connaissances approfondies à ce sujet*
- [3] *Décembre - Janvier : La décision d'étudier le réseau de métro parisien est fait. Quadrillage de ce dernier et on détermine des coordonnées spatiales pour chaque station*
- [4] *Février : Implémentation de ce graphe sous python et début du code nécessaire afin de l'étudier au mieux : algorithmes de recherche du plus court chemin*
- [5] *Mars - Avril : Plusieurs tentatives afin de déterminer les différents algorithmes de recherche du plus court chemin et recherche de l'heuristique utile pour A**
- [6] *Mai - Juin : Réflexion sur les fonctions utiles à implémenter et comment modéliser le déplacement des trains sur les différentes voies*

Croissance géographique d'une ville

La croissance de la ville au niveau géographique a retenu mon attention surtout que ma ville en fait le constat actuellement. Ainsi on pourra simuler le développement de certaines villes et organiser au mieux les espaces habitables avec les autres espaces (espaces verts, espaces commerciaux...).

Cette étude pourrait être d'une grande utilité sur le développement de certaines villes afin d'avoir un meilleur équilibre entre les bâtiments, les espaces verts, les zones agricoles. Aujourd'hui c'est même un enjeu sur le long terme.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHEMATIQUES (Autres).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Croissance urbaine</i>	<i>Urban growth</i>
<i>Modélisation mathématique</i>	<i>Mathematical modeling</i>
<i>Automate cellulaire</i>	<i>Cellular automata</i>
<i>Optimisation</i>	<i>Optimization</i>
<i>Hiérarchie</i>	<i>Ranking</i>

Bibliographie commentée

L'étalement urbain est la progression surfacique d'une ville au cours du temps autour de cette dernière. Ainsi plusieurs méthodes s'offrent à nous pour modéliser la ville à étudier. Les modèles fractals (le téragone, le tapis de Sierpinski ou le réseau hexagonal fractal de lieux centraux) en font partie. Ces derniers récupèrent des critères tels que la forme à donner à la ville ou encore la hiérarchie entre les éléments d'une ville, afin de répondre à la problématique d'une ville optimisée. Ils maximisent les accessibilités à tout type de lieu (épicerie, école, hôpital,...) tout en limitant la fragmentation des espaces non bâtis, ainsi elles évitent une densification trop importante des centres villes. [1])

La modélisation numérique d'une ville est un modèle scientifique qui permet de représenter les différents éléments d'une ville. Le modèle RAUMULUS est un de ces modèles, se basant sur un automate cellulaire, une grille régulière constituée de cellules. [2] Elles se définissent par un état parmi un ensemble fini. L'état d'une cellule au temps $t+1$ est défini en fonction de son état et celui des cellules voisines au temps t , obéissant aux paramètres de l'automate, défini prochainement. A savoir qu'ici une cellule est soit une habitation, soit une espace vide. [3]

Le modèle SLEUTH est un autre exemple de modèle utilisant un automate cellulaire. Ce dernier se base sur quatre scénarios différents qui sont : une expansion par diffusion, une expansion en continuité de l'urbain existant, une autre le long des routes et la dernière en créant de nouveaux centres. Il prend en compte plusieurs paramètres tels que la forme urbaine, le prix du loyer ou de

l'attractivité du territoire, afin de se montrer plus précis en s'adaptant le plus possible à la morphologie déjà existante de la ville. [4] Malgré cette certaine efficacité il a quand même certaines limites, qui vont être comblées par Mojtaba Eslahi dans sa thèse où il va diversifier les possibilités de simulation. Ainsi en ajoutant de nouveaux paramètres il va pouvoir combler des failles telles que les zones vertes qui doivent être gardées protégées. [5]

Notre sujet sera d'étudier le modèle RAUMULUS. Le but de ce modèle est de simuler le développement de la ville. Cette ville sera décrite par un tableau représentant les zones constructibles sur un réseau routier. Il va créer une accessibilité entre tous les éléments en se basant sur l'éloignement des bâtiments de la route, selon trois critères principaux : la densité d'occupation du sol, la distance au centre et la distance au réseau routier. Finalement la simulation crée un système en s'adaptant aux formes déjà existantes, efficace et fonctionnel. [6]

Problématique retenue

Comment modéliser informatiquement une ville et les différentes croissances urbaines possibles via le modèle RAUMULUS ?

Objectifs du TIPE

1. Choisir un modèle mathématique efficace modélisant une ville respectant le ratio espaces naturels et bâtiments.
2. Proposer un programme informatique simulant une ville par le modèle RAUMULUS.
3. Comparer plusieurs simulations montrant l'expansion possible de cette ville.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] CÉCILE TANNIER : Formes de villes optimales, formes de villes durables. Réflexions à partir de l'étude de la ville fractale : *paru en 03/2009 dans le n°138, pages 153 à 171*
<https://www.cairn.info/revue-espaces-et-societes-2009-3-page-153.htm>
- [2] Automate cellulaire RAUMULUS :
<https://journals.openedition.org/cybergeogeo/25353#:~:text=Un%20tel%20automate%20permet%20d,u ne%20ou%20plusieurs%20centralit%C3%A9s%20urbaines>
- [3] LABORATOIRE DE MATHÉMATIQUES L'UNIVERSITÉ DE SAVOIE : Automate cellulaire :
https://www.lama.univ-savoie.fr/mediawiki/index.php/Automates_cellulaires
- [4] Modèle SLEUTH : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02900307>
- [5] MOJTABA ESLAHI : Simulations de croissance urbaine pour représenter les impacts possibles des constructions et des contraintes environnementales sur l'étalement urbain : *thèse soutenu le 25/11/2019* <https://www.theses.fr/2019PESC2063>
- [6] DIEGO MORENO SIERRA : Un automate cellulaire pour expérimenter les effets de la proximité dans le processus d'étalement urbain : le modèle Raumulus :
https://www.researchgate.net/publication/257440208_Un_automate_cellulaire_pour_experimenter_les_effets_de_la_proximite_dans_le_processus_d%27etalement_urbain_le_modele_Raumulus

DOT

- [1]** *Octobre - Choix du sujet*
- [2]** *Novembre à Janvier - Documentation sur le sujet choisi. Rédaction de la MCOT.*
- [3]** *Février à Mai - Programmation en Python du modèle de mon sujet, le modèle Raumulus*
- [4]** *Fin Mai - Début des simulations de la ville grâce au programme*

Uniformiser notre répartition et nos déplacements dans la ville: une solution pour fluidifier la ville et limiter l'exposition aux maladies ?

L'absence de liberté de mouvement durant la pandémie de COVID-19 m'a beaucoup touché mentalement et physiquement. En prévision de futures flambées épidémiques, j'aimerais être en mesure de nous permettre une plus grande mobilité afin que nous puissions nous déplacer dans le parc, courir, tout en limitant notre exposition au virus

Le déplacement en ville de façon rapide et efficace est un sujet essentiel pour fluidifier la circulation, ainsi l'optimisation et l'uniformisation de la répartition des habitants peut permettre d'optimiser nos déplacements. Par ailleurs, l'amélioration de la circulation aide à limiter l'exposition et la propagation des maladies.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHÉMATIQUES (Géométrie).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>chemin le plus court</i>	<i>the shortest road</i>
<i>optimisation</i>	<i>optimisation</i>
<i>fluidification</i>	<i>fluidification</i>
<i>graphe</i>	<i>graph</i>
<i>uniformisation</i>	<i>homogenization</i>

Bibliographie commentée

La pandémie du covid-19 a commencé en novembre 2019. Son impact économique et territorial a été sans précédent puisqu'on a estimé un repli de 60% à 80% de l'économie du tourisme international en 2020[3]. La mise en place de confinement à travers le monde a fermé de multiples enseignes, en France plus de 75 000 restaurants et 40 000 cafés ont été affecté, aussi 76 % des hôtels Européens ont été fermé[4]. La circulation dans les villes avait été restreinte à trois kilomètres autour de la maison et aucune voiture n'était permise.

Afin de modéliser des chemins, routes ou accès entre différents endroits ou places, il est commode de penser à une modélisation par graphe pour représenter la situation et les conditions qui sont mis en place sur ces chemins, comme leurs longueurs. Un graphe se compose de deux ensembles : celui des sommets qui représente un point d'intersection entre plusieurs chemins ou un emplacement particulier, et l'ensemble des arêtes qui représente les routes reliant les sommets. Il existe cinq grandes familles de graphe : les graphes homogènes dans lesquels il est possible de reconnaître un motif régulier, les graphes hiérarchiques où les arêtes et sommets s'arrangent de façon pyramidale, les graphes cycliques présentant des cycles, les graphes centralisés avec la particularité que tous les sommets possèdent une arête reliée à un unique sommet et les graphes quelconques qui ne

possèdent pas de particularité.

Lorsqu'il s'agit d'établir un trajet entre un point a un autre, il est souvent plus commode de rechercher le plus court parmi tous les chemins existants. La recherche du chemin le plus court possède un domaine d'applications diver et de nombreux algorithmes ont vu le jour pour répondre à cette question. Le mathématicien et informaticien Edsger Dijkstra, né le 11 mai 1930, est un des informaticiens les plus importants du XX siècle. Il mit au point son algorithme en 1959. Cet algorithme, qui est un parcours du graphe, repose sur le principe d'exploration à partir du meilleur, il fournit tous les chemins de coûts minimaux entre un sommet fixé s et tous les autres. Pour cela, on construit un arbre couvrant minimal du graphe G dont la racine est s. C'est un des algorithmes fondateurs quant à la recherche du chemin court, cet algorithme est de complexité polynomiale; pour n sommets et a arête, le temps est en $O((a+n)*\log(n))$ [5]. On peut aussi citer l'algorithme de Roy-Floyd-Warshall qui en contre-partie de posséder une complexité en $O(n^3)$ plus grande que celle de l'algorithme de Dijkstra, permet de renvoyer l'ordre des sommets visités[5]. La différence entre les deux algorithmes se trouve dans leurs approches du problème: l'algorithme de Floyd se rapporte plus à de la programmation dynamique et recherche le chemin de poids minimal entre toutes les paires de noeud, celui de Dijkstra se rapproche plus d'un algorithme glouton et recherche le poids minimal dans des sous-problèmes.

En se basant sur le mythe de Dédale et le Minotaure, une thèse a été réalisée par Philippe Jacquet lors du covid, afin de guider une personne jusqu'à sa destination par un chemin court en lui permettant d'éviter toutes zones infectées par l'épidémie. Il repère le point d'arrivée et la position de la personne pour créer une droite d, puis lors d'un carrefour, il probabilise le choix de la route suivant l'angle établi par l'angle entre la route et d'ainsi qu'un facteur d'exposition de la rue au virus[1]. D'après ses modélisations et calcul dans différentes villes comme Paris, il a été estimé que son programme pourrait diminuer le facteur d'exposition de la personne par trois[2]. Il est possible d'appliquer le même principe pour uniformiser la répartition de la population dans la ville.

Problématique retenue

Comment fluidifier la circulation et optimiser le chemin d'un piéton afin de limiter son exposition à un virus lors d'une pandémie ?

Objectifs du TIPE

- modélisation d'une ville par un graphe
- optimisation du trajet d'un piéton
- simulation avec plusieurs piéton dans la ville
- ajout de nouvelle route représentant le reste des modes de transport
- rajout du poid des routes dépendant du trafic et du cout en carbone
- simulation avec ces nouvelles routes

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] PHILIPPE JACQUET : The Ariadne String against COVID -19 pandemic propagation: outdoor path selection with limited virus exposure : <https://hal.inria.fr/hal-02972887>
- [2] PHILIPPE JACQUET : The Ariadne String against Covid-19 pandemic propagation part 2: outdoor path selection after lock-downs : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02611833>
- [3] OCDE : L'Impact territorial du Covid-19 : Gérer la crise entre niveaux de gouvernement : <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/l-impact-territorial-du-covid-19-gerer-la-crise-entre-niveaux-de-gouvernement-2596466b/>
- [4] OCDE : Les actions engagées dans le domaine du tourisme face au coronavirus : https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=134_134884-bnynpm0tjl&title=LES-ACTIONS-ENGAGEES-DANS-LE-DOMAINES-DU-TOURISME-FACE-AU-CORONAVIRUS-COVID-19
- [5] THOMAS H. CORMEN, CHARLES E. LEISERSON, RONALD L. RIVEST ET CLIFFORD STEIN : introduction à l'algorithmique : <https://www.mccourts.net/cours/pdf/hascllc3/hasssclic995.pdf>

DOT

- [1] *Septembre-Octobre : Recherche de thèmes autour du déplacement en ville ou sur la répartition plus uniforme des habitants voyageant en ville. Cela m'a mené à une thèse sur le projet Ariane, qui est une application visant à aider une personne à traverser une ville pendant la pandémie de COVID-19.*
- [2] *Novembre : Collecte de toutes les informations possibles sur les différentes méthodes de déplacement dans une ville ainsi que sur la génération de villes afin de rédiger la MCOT.*
- [3] *Février-Mars : Extraction et utilisation de données en ligne dans le but de générer une ville connue qui évite tous les problèmes antérieurs. Analyse de la ville obtenue et correction des erreurs possibles générées par les données du site telles que la génération d'intersections supplémentaires.*
- [4] *Avril-mai : Recherche additionnelle sur la variation d'un virus dans une zone afin de le mettre en œuvre dans le programme. Recherche et mise en place de l'algorithme A* pour effectuer le parcours d'un citoyen dans la ville.*

Modélisation d'une file d'attente dans un serveur informatique

Les files d'attente sont omniprésentes dans notre société : attente à un guichet, trafic urbain, serveur informatique... Celles-ci représentent un enjeu économique important, ce qui rend encore aujourd'hui leur étude essentielle. C'est pour cela que j'ai décidé d'étudier ce projet.

La technologie, notamment l'informatique, étant très présente et indispensable en ville, une étude approfondie des files d'attente dans les serveurs informatiques y est primordiale.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Autres), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>file d'attente</i>	<i>waiting line</i>
<i>serveur informatique</i>	<i>computer server</i>
<i>simulation informatique</i>	<i>computer simulation</i>
<i>loi de probabilité</i>	<i>law of probability</i>
<i>système markovien</i>	<i>markovian system</i>

Bibliographie commentée

La modélisation mathématique et la simulation informatique de file d'attente sont des méthodes qui permettent d'étudier le temps d'attente d'une personne ou d'une tâche dans un système. Le domaine de la théorie des files d'attente est né en 1917 à la suite des travaux d'Agner Krarup Erlang, un ingénieur danois, qui a étudié le problème du trafic téléphonique de Copenhague. Pour résoudre cela, il a élaboré un modèle mathématique basé sur la loi de Poisson. Cette loi de probabilité est associée aux phénomènes rares, et est encore utilisée dans la modélisation des files d'attente de nos jours [1][2].

Les files d'attente sont encore très étudiées afin de trouver des modèles numériques de plus en plus proches de la réalité pour permettre de les optimiser. En effet, avant de créer un serveur informatique, il est important d'analyser ses performances, puisque celles-ci représentent un enjeu économique important : si l'attente pour se connecter à ce serveur informatique est trop longue, moins de personnes l'utiliseront, et il produira moins de bénéfices.

Le mathématicien David George Kendall a apporté beaucoup à la théorie sur les files d'attente avec notamment la notation de Kendall (A/B/C/K/N/D), qu'il introduit pour la première fois en 1953. Celle-ci permet de représenter mathématiquement les files d'attente, où A représente le processus d'arrivée, B le processus de service, C le nombre de serveurs, K le nombre de personnes que le service peut accueillir en même temps, N le nombre de personnes potentiellement intéressé et D la discipline de service, c'est-à-dire la façon dont les personnes voulant se connecter au serveur sont servis, où les plus courants sont :

- First In First Out (FIFO), qui signifie que la première personne arrivée est la première servie et la première à finir sa tâche.
- First Come First Served (FCFS), qui est différente de la discipline de service FIFO quand il y a plusieurs serveurs, puisque celle-ci ne prend pas en compte le temps de service et considère que la personne est sortie de la file une fois le service commencé.
- Random, qui signifie que la prochaine personne servie est prise aléatoirement dans la file d'attente.

Ce sont les paramètres les plus importants pour pouvoir modéliser sa file d'attente. Le plus souvent, on modélise les personnes se connectant au serveur arrivent en suivant une loi de probabilité de Poisson. De plus, le cas que l'on retrouve le plus fréquemment est un système dont la notation de Kendall est de la forme M/M/1. Cette notation signifie que les processus d'arrivée et de service sont dit markovien, que la file d'attente possède un seul serveur qui peut accueillir une infinité de personnes, et qu'il y a potentiellement une infinité de personnes qui veulent s'y connecter. Le plus souvent, la discipline utilisée est de la forme First In First Out (FIFO). Un système est dit markovien si le temps entre deux tentative de connexion et le temps de service suivent une loi exponentielle [3][4]. Mais, il existe d'autres lois de probabilité, qui sont plus adaptées pour certains systèmes, comme la loi gamma utilisée pour modéliser la file d'attente à un péage d'autoroute [5]. De plus, il est possible de rajouter des paramètres qui vont influencer et complexifier la modélisation, par exemple si l'on introduit une classe de personnes prioritaires, qui auront un chemin différent dans la file d'attente [2][6].

Problématique retenue

Comment simuler informatiquement une file d'attente ? Comment mesurer son efficacité ?

Objectifs du TIPE

Choisir les lois de probabilité suivie par notre file d'attente

Définir les différents paramètres de notre file d'attente

Proposer un algorithme informatique pour simuler notre file d'attente

Comparer les différents modèles étudiés

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] TESNIM NACEUR : Systèmes de files d'attente stratégiques avec information contrôlée :

<https://theses.hal.science/tel-03211895/document>

[2] NAVITHA PEREIRA : Waiting lines and simulation :

<https://www.slideshare.net/NavithaPereira/waiting-lines-simulation>

[3] CLAUDIE CHABRIAC : Processus stochastiques et modélisation : <https://www.math.univ-toulouse.fr/~lagnoux/master2.pdf>

[4] SEBASTIEN LE DIGABEL : Introduction aux files d'attente :

https://www.gerad.ca/Sebastien.Le.Digabel/MTH2302D/14_files_attente.pdf

[5] H. MEHRI ET DJEMEL TAOUFIK : Etude et simulation du phénomène d'attente dans l'autoroute

(zone de péage) : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00311883/document>

[6] JOOS KORSTANJE : Waiting line models : <https://towardsdatascience.com/waiting-line-models-d65ac918b26c>

DOT

[1] *Octobre 2022 - Choix du sujet*

[2] *Novembre 2022 - Documentation sur le sujet choisi*

[3] *Décembre 2022 - Rédaction de la MCOT*

[4] *Janvier-Février 2022 - Programmation d'une file d'attente possédant un serveur*

[5] *Mars 2022 - Programmation d'une file d'attente possédant n serveurs*

Etude d'un détecteur optique de fumée

La prévention et la détection des incendies dans les infrastructure a toujours été un défi important pour assurer la sécurité de chacun. Je trouve la physique ondulatoire utilisée dans ce problème intéressante [1], et c'est donc ce qui m'a amené à choisir ce sujet d'étude.

De plus, il est en adéquation avec le thème de l'année puisqu'en effet, aujourd'hui, toutes les infrastructures de la ville sont équipées de détecteurs de fumée pour prévenir d'un incendie.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

INFORMATIQUE (Informatique pratique), PHYSIQUE (Physique Ondulatoire).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Fumée</i>	<i>Smoke</i>
<i>Diffusion</i>	<i>Scattering</i>
<i>Rayons lumineux</i>	<i>Light ray</i>
<i>Incendie</i>	<i>Fire</i>
<i>Détecteur de lumière</i>	<i>Light detector</i>

Bibliographie commentée

Chaque année, c'est entre 60 000 et 70 000 incendies domestiques nécessitant une intervention des pompiers qui se déclenchent, causant au passage environ 200 morts et 9 000 blessés [2]. Ces chiffres montrent donc l'importance de prévenir ce danger.

Le premier détecteur de fumée à prix abordable a été inventé par Douane D. Pearsall en 1965.[3]

La fumée d'un feu est composée de cendres volantes et de carbone imbrulé qui sont des particules de grande taille par rapport à la longueur d'onde de la lumière diffusée (diamètre de la particule diffusante 0,1 à 10 fois plus grande que la longueur d'onde du rayon lumineux). On se placera donc dans le cadre de la théorie de Mie.[1]

Cette théorie est une solution particulière aux équation de Maxwell, mise en évidence par Gustav Mie en 1908. L'énoncé de ce résultat nous dit que lorsqu'une onde lumineuse entre en contact avec une particule, alors celle-ci émet en réaction une onde électromagnétique dans toutes les directions de façon isotrope.

Différentes méthodes ont déjà été étudiées pour pouvoir détecter les incendies :

On a par exemple le détecteur de fumée ionique, inventé par Duane D. Pearsall. Celui-ci est composé de deux armatures métalliques entre lesquelles, l'air est ionisé par la présence de particules radioactives émettant des particules alpha. Ainsi, en appliquant une tension aux deux armatures,

on peut mesurer une intensité de référence traversant le système. La présence de fumée va perturber le passage des électrons dans l'air ionisé et ainsi, modifier l'intensité mesurée[4]. Cette solution est néanmoins peu efficace car d'autres particules telles que celles qu'on trouve dans les déodorants peuvent avoir le même effet pour le détecteur. La présence de particules radioactives n'est également pas désirable dans un bâtiment ou une maison.[5]

Il est d'autre part possible de détecter les incendies via un détecteur de chaleur. Celui-ci se déclenchera une fois un certain seuil de température atteint ou une grande augmentation de température détectée.[4]

Enfin, et ce sera la solution étudiée dans ce TIPE, on a les détecteurs optiques qui utilisent la diffusion des ondes lumineuses sur les particules de fumées pour détecter les incendies. On construit un tube opaque dans lequel on place à une extrémité un émetteur de lumière. De l'autre côté sera percé des trous afin de laisser entrer les particules de fumée. Ensuite on joint perpendiculairement à ce tube une extension de la même dimension au bout de laquelle on place une cellule photoélectrique. Ainsi la lumière ne pourra pas arriver jusqu'à ce détecteur qu'à condition d'avoir été diffusée par les particules de fumée (si elles sont présentes). Détecter un départ de feu par sa fumée reviendra donc à voir s'activer la cellule photoélectrique. [4]

Problématique retenue

Il s'agira de concevoir un système permettant de détecter la fumée, puis de comparer les résultats avec les prédictions de notre programme informatique basé sur le point de vue théorique.

Pendant cette étude, on se demandera comment optimiser les performances d'un détecteur de fumée tout en conservant sa fiabilité.

Objectifs du TIPE

Etudier le temps de réaction d'un détecteur de fumée optique dans un endroit clos.

Calculer avec un programme informatique le champ électromagnétique diffusé par une particule (de fumée par exemple) dans le cadre de la théorie de Mie[1]. On pourra ainsi trouver analytiquement un seuil d'intensité lumineuse à détecter permettant d'assurer la présence d'un départ de feu.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] GUENIFFEY JÉRÔME : Exploitation des observations menées en 2008 avec un sky Brightness monitor au Dôme C : <http://physique.unice.fr/sem6/2008-2009/PagesWeb/SBM/Autres/Rapport.pdf>

[2] Incendies domestiques : <https://sante.gouv.fr/prevention-en-sante/risques-de-la-vie-courante/article/incendies-domestiques>

[3] Backgrounder on Smoke Detectors : <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/smoke-detectors.html>

- [4] ZOHREH MOKHTARI : Etude et réalisation de détecteurs ioniques de fumée sans source radioactive : <https://theses.hal.science/tel-00825396/document>
- [5] Détecteur de fumée (Daaf) : sécurité incendie dans le logement : <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F19950>

Références bibliographiques (ETAPE 2)

- [-9] FRANCK ENGUEHARD : Théorie de Mie et approximation dipolaire :
[file:///C:/Users/Maxime/Desktop/th%C3%A9orie%20de%20la%20diffusion/Th%C3%A9orie%20de%20Mie%20\(plus%20difficile\).pdf](file:///C:/Users/Maxime/Desktop/th%C3%A9orie%20de%20la%20diffusion/Th%C3%A9orie%20de%20Mie%20(plus%20difficile).pdf)

DOT

- [1] *Septembre-Octobre: recherche du sujet*
- [2] *novembre: approfondissement du sujet*
- [3] *décembre: MCOT et Plan d'étude*
- [4] *Février-Mars: début du programme + analyse de la théorie de Mie*
- [5] *Avril: Obptention d'une figure de diffusion peu réaliste*
- [6] *Mai: Reprise du programme et de la théorie de Mie*
- [7] *Juin: Simulation de la diffusion par un nuage de fumée*

Etude du réseau de parking d'une ville

L'optimisation du placement des parkings dans une ville est importante pour nous garer. En effet, pour la plupart de nos déplacements entre les zones périurbaines et le centre ville, nous devons nous stationner. Résidant dans la banlieue d'une ville, j'ai souvent du mal à me garer.

Dans les centres-villes, nous sommes très souvent confrontés à des problèmes de stationnement. Il y a une incompatibilité entre l'offre et la demande de stationnement. De plus, il y a actuellement une tendance à supprimer les places de stationnement sur rue.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHEMATIQUES (Autres).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Stationnement</i>	<i>Parking</i>
<i>O p t i m i s a t i o n</i>	<i>d u Parking optimization</i>
<i>stationnement</i>	
<i>Génération graphe planaire</i>	<i>Planar graph generation</i>
<i>Etalement urbain</i>	<i>Urban sprawl</i>
<i>Recherche de chemin quasi optimale</i>	<i>Near-optimal path finding</i>

Bibliographie commentée

Dans les villes, il y a souvent un besoin d'augmenter le nombre de places de stationnement en raison de l'étalement urbain. Mais, on constate plusieurs problèmes liés à la création de nouveaux parkings : îlots de chaleur dûs au goudron et au manque de végétalisation, paysages inorganiques et circulation [1].

Dans un contexte où l'on recherche de plus en plus une meilleure qualité de vie dans les villes, il faudrait bien organiser le réseau de parking pour limiter ces problèmes.

Ainsi, pour se rendre quelque part en voiture il faut un stationnement. Dans ce cas, il est avantageux d'avoir un parking proche de l'endroit où l'on souhaite aller et donc avoir une répartition intelligente des parkings dans la ville. Actuellement, le trajet le plus chronophage pour un français est celui qui mène à son travail. En effet, le temps de déplacement moyen entre le domicile et le lieu de travail en voiture est de 30 minutes [2].

Pour modéliser une ville, on peut s'appuyer sur les graphes nous permettant de la représenter dans un plan. Les nœuds du graphe seront les points d'intérêts, par exemple, les monuments, centre commerciaux, les écoles et les parkings. De plus, les arêtes seront les rues entre chaque nœud. Un

tel graphe sera nécessairement planaire : un graphe planaire se représente sur un plan sans qu'aucune arête n'en croise une autre permettant ainsi d'avoir un schéma logique de la ville. On n'étudiera pas le cas où il y a des tunnels ou des ponts dans la ville.

La création d'un modèle générique peut se faire avec un graphe aléatoire. Les premiers travaux sur ce sujet ont été présentés par Paul Erdős et Alfréd Rényi en 1959. Leur modèle permet de connecter les nœuds entre eux aléatoirement et chaque arête est créée selon une probabilité uniforme [3]. Toutefois ce modèle ne garantit pas de générer des graphes planaires.

Aujourd'hui il existe une multitude de modèles de génération de graphe aléatoire. Un graphe "petit monde" est de mieux en mieux connecté lorsqu'on se rapproche de son "centre" [4]. Ce type de graphe représente bien le réseau d'une ville, car la ville a la particularité de se densifier en son centre.

Une méthode assez simple est d'avoir un graphe constitué uniquement de triangles qui garantissent la connexité et la planarité. Plusieurs modèles existent pour construire un graphe avec des triangles. Dans la triangulation de Delaunay, par exemple, aucun nœud du graphe n'est à l'intérieur du cercle circonscrit d'un des triangles [5] et avec les réseaux Apollonien on subdivise un triangle pour former trois nouveaux triangles, et ainsi de suite [6].

Pour juger la qualité d'un réseau de parking, il est intéressant d'utiliser un algorithme de recherche du plus court chemin.

Dans un graphe pondéré on peut utiliser l'algorithme Dijkstra pour connaître le temps qu'il faut pour effectuer un trajet entre un nœud et tous les autres [7].

Problématique retenue

L'enjeu est d'analyser le réseau de parking d'une ville afin de déterminer s'il est bien organisé.

Objectifs du TIPE

Écrire un programme python permettant de générer un graphe aléatoire planaire.

Étudier la répartition des parkings dans une ville en vu de limiter les temps de trajet en voiture.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] COLLECTIVITESVIABLES.ORG : Problématique du stationnement :

<https://collectivitesviables.org/articles/problematique-du-stationnement.aspx>

[2] LE PARISIEN : En moyenne, de 20 à 44 minutes pour se rendre au travail :

<https://www.leparisien.fr/economie/nouvelles-mobilites/en-moyenne-de-20-a-44-minutes-pour-se->

rendre-au-travail-12-09-2019-8150175.php

- [3] ERDS, P.; RÉNYI, A. : On Random Graphs : *Publicationes Mathematicae*
- [4] WATTS DJ, STROGATZ SH : Collective dynamics of 'small-world' networks : *Nature* 393, 440–442 (1998).
- [5] DELAUNAY, BORIS : Sur la sphère vide : *Bulletin de l'Académie des Sciences de l'URSS, Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles*
- [6] ANDRADE, JOSÉ S., JR.; HERRMANN, HANS J.; ANDRADE, ROBERTO F. S.; DA SILVA, LUCIANO R. : Apollonian Networks: Simultaneously Scale-Free, Small World, Euclidean, Space Filling, and with Matching Graphs : *Physical Review Letters*
- [7] EDSGER W. DIJKSTRA : A short introduction to the art of programming : *EWD 316*

DOT

- [1] *Fin Février : Finalisation de la génération de la ville.*
- [2] *Début Mars : Tentative de limiter la connectivité de la ville.*
- [3] *Fin Mars : Utilisation de K-moyennes pour optimiser le placement des parkings.*
- [4] *Début Mai : Optimisation de K-moyenne avec la méthode du coude/ coefficient de silhouette.*
- [5] *Mi Mai : Réalisation de la présentaion*

Etude de la percolation dans des graphes finis, aléatoires et plans

La possibilité d'acquérir du recul sur les conséquences des aléas du réseau urbain et sur l'impact de sa conformation, ainsi que l'utilisation des probabilités pour produire un modèle simplifié d'un phénomène complexe ont retenu mon attention pour ce sujet.

Dans un cadre d'expansion urbaine et d'accroissement des mouvements au sein des villes, les problématiques liées à la perturbation du trafic routier prennent de l'ampleur.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Autres), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Percolation</i>	<i>Percolation</i>
<i>Probabilités</i>	<i>Probabilities</i>
<i>Graphes plans</i>	<i>Planar graphs</i>
<i>Simulation informatique</i>	<i>Computer simulation</i>
<i>Test de connexité</i>	<i>Connectivity test</i>

Mots-clés (ETAPE 2)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Probabilités</i>	<i>Probabilities</i>
<i>Percolation</i>	<i>Percolation</i>
<i>Simulation informatique</i>	<i>Computer simulation</i>
<i>Statistiques</i>	<i>Statistics</i>
<i>Graphes plans</i>	<i>Planar graphs</i>

Bibliographie commentée

En vue d'étudier le trafic routier, ses mécanismes internes et les différents paramètres qui agissent sur son évolution, divers modèles ont vu le jour pour représenter, sous forme simplifiée, ce phénomène somme toute complexe. En particulier, plusieurs modèles prennent le parti d'assimiler le trafic à l'écoulement d'un fluide. [1]

L'écoulement d'un fluide au travers d'un milieu poreux est l'objet d'étude de la théorie de la percolation. Quoi que prenant leurs sources au début du XIXe siècle, les résultats connus sur la percolation peuvent se revendiquer des travaux menés par J. Hammersley et S. Broadbent au cours du XXe siècle. En particulier, ils furent les premiers à mettre en évidence, en 1957, l'existence d'un effet de seuil lié à la variation de la probabilité de percolation : il semble exister une valeur critique de probabilité au-delà de laquelle le comportement du système change de manière drastique[2]. Depuis, cette théorie trouve de nombreuses applications dans des cadres variés, comme l'étude de

l'écoulement de l'eau au travers des sols, ou la propagation des épidémies et des feux de forêt.

Plusieurs modèles de percolation ont été élaborés. La plus commune, et la plus étudiée, est la percolation dite « de Bernoulli », consistant à associer à un graphe une probabilité p dite « probabilité de percolation » ; chaque arête du graphe est alors associée à une variable aléatoire de Bernoulli de paramètre p , puis les arêtes associées aux variables de valeur nulle sont supprimées du graphe [3]. Ce modèle fut particulièrement étudié dans le cadre du réseau $\mathbf{Z} \times \mathbf{Z}$ (correspondant à l'ensemble des points entiers du plan $\mathbf{R} \times \mathbf{R}$, chacun relié à ses quatre plus proches voisins) et de ses sous-parties, éventuellement finies. [4] Divers démonstrations ont, dans le cas de $\mathbf{Z} \times \mathbf{Z}$ tout entier, démontré que la probabilité critique vaut exactement $1/2$ (résultat connu sous le nom de Théorème de Kesten). En-deçà, la probabilité que le graphe percolé ait une composante connexe infinie vaut 0 ; au-delà, elle vaut 1 .

Le processus de percolation peut être appliqué à des graphes dits « aléatoires » – c'est-à-dire générés par un processus aléatoire – notion introduite en 1958 par Paul Erdős et Alfréd Renyi [5]. Afin de modéliser le réseau urbain, il semble approprié d'utiliser comme base un graphe plan, c'est-à-dire un graphe qu'il est possible de dessiner sur une surface à deux dimensions sans que deux arêtes ne se croisent. L'étude des graphes plans, recouvrant de larges domaines d'application, a permis d'élaborer divers modèles de génération de graphes plans. Parmi celles-ci, on peut compter la génération d'arbres dits « de Catalan » [6], ou encore des graphes dits « apolloniens » (nommés d'après le géomètre grec Apollonios de Perga), qui offrent l'avantage d'être très faciles à construire tout en garantissant avec certitude la planarité du graphe [7].

Un spécificité de ce dernier type de graphes est d'obtenir une triangulation, c'est-à-dire un graphe dont tout cycle de longueur supérieure stricte à trois admet une corde. Omer Angel étudia en 2002 le processus de percolation dans des triangulations infinies et uniformes, et démontra que la probabilité critique de percolation y était presque sûrement égale à $1/2$ [8].

Problématique retenue

Comment démontrer la probabilité critique de percolation dans $\mathbf{Z} \times \mathbf{Z}$? Retrouve-t-on des effets similaires pour la percolation des graphes aléatoires finis ? Dans quelle mesure l'agencement du réseau ont-ils une influence sur le graphe obtenu après percolation ?

Objectifs du TIPE

Démontrer la probabilité critique de percolation dans le cas de $\mathbf{Z} \times \mathbf{Z}$

Mettre au point un procédé cohérent de génération de graphes plans.

Etudier la percolation sur de tels graphes, et essayer de le mettre en relation avec ses caractéristiques.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] LUDOVIC LECLERCQ : Chapitre IV : Modélisation du trafic : <http://csidoc.insa-lyon.fr/these/2002/leclercq/chapitre4.pdf>
- [2] S. R. BROADBENT ET J. M. HAMMERSLEY : Percolation Process I. Crystals and Mazes : <https://www.cambridge.org/core/journals/mathematical-proceedings-of-the-cambridge-philosophical-society/article/abs/percolation-processes/C00CC4943F48228F8AC8031092FE84EC>
- [3] HUGO DOMINIL-COPIN : Introduction to Bernoulli Percolation : <https://www.ihes.fr/~duminil/publi/2017percolation.pdf>
- [4] MICHAEL LIU : Percolation theory : percolation on a square lattice : <https://michaelliuwriting.com/category/math/percolation/>
- [5] PAUL ERDÖS ET ALFRÉD RENYI : On random graphs I : https://users.renyi.hu/~p_erdos/1959-11.pdf
- [6] N. CURIEN ET I. KORTCHEMSKI : Raconte moi... l'arbre continu Brownien : *la Gazette des mathématiciens*, n°162
- [7] WOLFRAM MATHWORLD : Apollonian Network : <https://mathworld.wolfram.com/ApollonianNetwork.html>
- [8] OMER ANGEL : Growth and Percolation on the Uniform Infinite Planar Triangulation : <https://arxiv.org/pdf/math/0208123.pdf>

DOT

- [1] Octobre 2022 : Premiers essais de génération de graphes plans. Divers méthodes sont testées pour aboutir au premier modèle fondé sur les graphes Apolloniens.
- [2] Novembre 2022 : Utilisation de variables aléatoires pour contrôler la connectivité des graphes générés. Plusieurs lois de probabilités sont testées.
- [3] Décembre 2022 : Le premier modèle est rejeté car incapable de respecter le cahier des charges. Elaboration du second modèle.
- [4] Février 2023 : Batterie de tests statistiques pour éprouver le second modèle. Il est finalement validé.
- [5] Mars 2023 : Apprentissage des concepts de la théorie de la percolation.
- [6] Mai 2023 : Simulations de percolation sur les graphes générés.

Fonctionnement des codes correcteurs et théories des codes, exemple et reconstitution d'un message bruité grâce au code de Reed Solomon.

Mon domicile étant situé loin des villes, les problèmes de connexions, filaires ou non étaient fréquents. Ayant déjà traité les phénomènes ondulatoires de tels canaux de communication, je me suis concentré sur la réception de l'information émise, sa reconstitution en cas de bruit à l'aide de codes correcteurs.

La quantité d'informations circulant en ville est en croissance permanente, avec des nouvelles techniques apportant des débits d'information de plus en plus élevés, il est ainsi primordial qu'en cas de bruit lors de la communication via le canal, il soit possible de le reconstituer le plus rapidement possible.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

INFORMATIQUE (Informatique Théorique), MATHÉMATIQUES (Algèbre).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>codes correcteurs</i>	<i>corrective code</i>
<i>canal de communication</i>	<i>transmission canal</i>
<i>théorie des codes</i>	<i>code theory</i>
<i>détection et correction</i>	<i>sensing and correcting</i>
<i>code de Reed Solomon</i>	<i>Reed Solomon code</i>

Bibliographie commentée

Ces dernières décennies connaissent l'essor des communications numériques, de par l'évolution des canaux de transmissions mobiles. En 30 ans nous avons évolué de la 1g, à la 5g, répondant à une demande sans cesse en hausse de données numériques. Les prévisions CISCO avaient anticipés à ce sujet qu'en 2021, la quantité de données transitant par ces canaux serait de 49 exabytes par mois, le nombre d'utilisateurs de réseaux mobiles lui, dépasserait 5,5 milliards [1]. Ces prévisions étaient légèrement exagérées, avec « seulement » 4,66 milliards d'utilisateurs internet dans le monde en 2021[5].

Néanmoins la transmission du signal via un canal implique une potentielle perte ou altération de ces données, appelées bruit, ce bruit peut entraîner une modification du sens.

Pour parer à ces éventualités, les codes correcteurs sont l'une des solutions apportées. Un code correcteur sert à assurer une transmission ou un stockage d'information par un canal ou support qui pourrait la détériorer, répondant aux préoccupations de concepteurs des méthodes de transmission de l'information l'efficacité, la sécurité, l'intégrité [2]. Les codes correcteurs sont utilisés notamment lors de l'échange de données sur internet, sur réseau mobile, ou lors du stockage

de données sur un disque DVD. L'idée est de rajouter un certain nombre de redondances afin de pouvoir retrouver le message initial si celui-ci a été légèrement altéré[3]. Le nombre de redondances dépendant de la fiabilité du support et du besoin de correction : une sonde spatiale en utilise beaucoup pour transmettre des données, tandis que le protocole http se contente d'une simple détection d'erreurs, préférant redemander le message au serveur plutôt que de le corriger.

Richard Hamming fut le premier scientifique créant un code correcteur lors de ses travaux pour le laboratoire Bell en 1950. Ce code permet la réparation automatique d'une erreur, il est parfait pour une longueur de code donnée, en d'autres termes il n'existe pas de code plus compact aussi efficace que celui-ci, son rendement est ainsi maximal mais ne permet la détection que d'une erreur à la fois. Les codes Reed-Solomon (RS) sont utilisés pour corriger les erreurs dans de nombreux systèmes, y compris les dispositifs de stockage (les disques compacts, les DVD, les codes-barres) , les communications sans fil ou mobiles [4]. L'encodeur RS prend un bloc de données numériques et y ajoute des bits. Les erreurs se produisent pendant la transmission ou le stockage pour différentes raisons [6]. Le décodeur Reed-Solomon traite chaque bloc et tente de corriger les erreurs et de récupérer les données d'origine. Le nombre et le type des erreurs pouvant être corrigées dépendent des caractéristiques du code Reed-Solomon.

Problématique retenue

Comment reconstituer un message bruité ? J'ai choisis la méthode de Reed Solomon et je vais analyser sa complexité pour un nombre fixe d'erreurs.

Objectifs du TIPE

Création d'un code correcteur utilisant la méthode de Reed-Solomon, reconstitution d'un message bruité dans un premier temps, puis analyser les performances de mon programme.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] AO LI : Performances des codes correcteurs d'erreur LDPC appliqués au lien Fronthaul optique haut-débit pour l'architecture C-RAN du réseau 5G : conception et implantation sur FPGA :

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01744890/document>

[2] théorie des codes 3eme édition

[3]

https://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/46756/Hamming_1982.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[4] <https://www.theses.fr/2020IMTA0178.pdf>

[5] <https://www.e-works.fr/blog/chiffres-internet-france-monde-2021/>

DOT

- [1] *Décembre 2021- orientation du TIPE vers les ondes électromagnétiques et plus particulièrement vers la cage de Faraday, cherchant a travailler sur les interférences*
- [2] *Juin 2022 - changement d'orientation, vers les mathématique et l'informatique théorique, et donc sur les codes correcteurs*
- [3] *Octobre 2022- découverte de la revue de journée annuelle de 2010 sur les codes de Reed-Solomon*
- [4] *Mars 2023 - première version du code achevée, reconstituer l'entier de départ est possible*
- [5] *fin Mai 2023- l'essaie de transcrire l'algorithme dans le corps des polynômes n'aboutissant pas, je décide d'arrêter le développement de ce programme*
- [6] *Début juin - remise de la présentation, j'ai orienté mon travail de la dernière semaine sur l'analyse aux limites de mon premier programme*

Modélisation du champ électrostatique d'un électrofiltre

J'ai choisi ce sujet car la qualité de l'air et le développement durable sont des questions qui me préoccupent, et pour lesquelles j'aimerais comprendre et contribuer à résoudre les enjeux. Ce sujet me permet aussi d'utiliser des notions vues lors des chapitres d'électrostatique, que je trouve passionnantes.

La préservation de la qualité de l'air de l'atmosphère est un enjeu majeur du 21^e siècle, en particulier dans les villes. L'industrie participe grandement à détériorer la qualité de l'air, et l'électrofiltre est justement une solution pour palier au moins en partie à ce problème.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Mécanique), INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHÉMATIQUES (Mathématiques Appliquées).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Champ électrostatique</i>	<i>Electrostatic field</i>
<i>Électrofiltre</i>	<i>Electrostatic precipitator</i>
<i>Charge électrique</i>	<i>Electric charge</i>
<i>Pollution de l'air</i>	<i>Air pollution</i>
<i>Particules fines</i>	<i>Fine particles</i>

Bibliographie commentée

La révolution industrielle a été une catastrophe sur la question de la qualité de l'air. La combustion massive de charbon est évidemment le premier responsable : les usines rejetaient leurs fumées sans aucun traitements préalables, ce qui a conduit à une réduction de l'espérance de vie, des dépôts de charbon sur les arbres et les animaux, et des brouillards de fumée constants dans les zones industrielles[1]. C'est donc en réponse à ces problèmes, qu'en 1824, on a décidé d'agir, en créant l'électrofiltre, qui ne se démocratisera dans les usines qu'un siècle plus tard [2].

Cela a permis de d'améliorer grandement la qualité de l'air, même si encore aujourd'hui, l'industrie est un des secteurs qui polluent le plus, puisqu'elle est responsable de 25 % des émissions de CO₂ et d'une grande partie des émissions de particules fines (14 % pour les plus fines, 19 % pour les plus grosses, 37 % SO₂ et d'autres. [3]) .

Ces particules ont plusieurs effets néfastes sur la santé. Elles peuvent provoquer maladies respiratoires (bronchite, asthme, cancer du poumon), ou cardiaque (tachycardie, infarctus, AVC). Elles peuvent aussi créer des malformations chez les nouveaux nés, et perturber l'équilibre hormonal, à la fois chez l'homme, et chez les animaux . En France, 40 000 personnes décèdent chaque année à cause de la pollution atmosphérique [4].

A l'heure où la qualité de l'air est un enjeu crucial, l'électrofiltre se présente comme la solution la plus probante, pour lutter contre l'émission de particules fines. En effet, l'électrofiltre trouve son utilisation dans le traitement des gaz, en particulier, de ceux émis par l'industrie. Il s'avère être très efficace, puisqu'il filtre entre 90 % et 99,9 % des particules[5].

Le principe de fonctionnement de l'électrofiltre repose sur l'application d'un champ électrique sur les particules en suspension, qui est généralement obtenu à travers des électrodes immergées dans le gaz. Les particules en suspension sont chargées électriquement en fonction de leur composition et de leur structure, et elles sont attirées vers les électrodes de polarité opposée sous l'effet du champ électrique. Les particules en suspension sont chargées électriquement en fonction de leur composition et de leur structure, ce qui leur donne une charge électrique positive ou négative. Sous l'effet du champ électrique, les particules de charge positive sont attirées vers l'électrode négative et les particules de charge négative sont attirées vers l'électrode positive. [6]

Ainsi, grâce à ce processus, les particules en suspension sont séparées et éliminées du fluide en utilisant des forces électrostatiques qui agissent sur elles. L'électro-filtration est utilisée dans de nombreuses applications, comme la purification de l'eau, la production alimentaire, les industries chimiques et pétrolières, entre autres. Il peut être utilisé pour séparer des particules de taille très petite, comme les ions ou les molécules, ainsi que des particules plus grosses comme les micro-organismes ou les particules en suspension. [6]

Problématique retenue

L'enjeu ici est de déterminer la capacité d'un électrofiltre à capturer des particules fines dans le gaz, afin de préserver la qualité de l'air de l'atmosphère ; comment garantir une qualité de l'air satisfaisante grâce à l'anticipation des performance d'un électrofiltre?

Objectifs du TIPE

- Proposer un modèle physique permettant de modéliser l'action d'un électrofiltre
- Modéliser numériquement l'effet d'un électrofiltre sur une particule de poussière
- Étudier l'influence de différents paramètres sur l'effet de l'électrofiltre

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] <https://www.science-et-vie.com/paroles-d-experts/la-pollution-a-grande-echelle-a-commence-au-xixe-siecle-12204.html>
- [2] FARNOUD A (2008). : Electrostatic Removal of Diesel Particulate Matter. p. 23. : ISBN 978-0549508168
- [3] <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/sources-and-emissions-of-air>
- [4] <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/articles/pollution-atmospherique-quels-sont-les-risques>
- [5] <https://www.babcock.com/assets/PDF-Downloads/Emissions-Control/PS-422-Dry-Electrostatic-Precipitator-Brochure-Babcock-Wilcox.pdf>
- [6] PETER H. RAVEN, LINDA BERG, DAVID M. HASSENZAHN : Environnement : *De Boeck*, 2009

DOT

- [1] *Octobre - Choix du sujet*
- [2] *Novembre - Documentation sur le sujet choisi. Rédaction de la MCOT*
- [3] *Décembre - Choix du modèle pour le champ électrique ; modèle du champ créé par un fil infini*

- [4] *Janvier - Début de la programmation sur Python.*
- [5] *Février - Changement de modèle ; Passage du champ créé par un fil infini à celui créé par une succession de charges ponctuelles*
- [6] *Avril - Choix du modèle pour la trajectoire des particules et programmation de ce modèle*
- [7] *Mi mai - Début Juin – Étude de l'influence de plusieurs paramètres : Réalisation de différentes simulations*