

Titre : Planification de la mobilité des étudiants de l'enseignement supérieur au travers d'un système dynamique et multimodal.

Domaines scientifiques : Informatique, recherche opérationnelle & sciences des données.

Mots clés : mobilité, co-voiturage, multimodal, allocation de ressources, recherche opérationnelle, traitement de données.

Encadrement

Directeur de thèse :

- Dr. David BAUDRY, HDR, Directeur de Recherche CESI-LINEACT

Co-encadrants :

- Dr. Simon CAILLARD, Enseignant-Chercheur CESI-LINEACT
- Dr. Myriam FOUCRAS, Enseignant-Chercheur CESI-LINEACT

Travaux de Recherche

Sujet de thèse

Cette thèse de doctorat s'inscrit dans le cadre du programme MobE (programme de Certificat d'Economie d'Energie) et a pour objectif de concevoir un outil de planification de trajets, de type « *domicile - lieu d'activité* » dans la cadre de l'enseignement supérieur et de la recherche (ESR) mettant en avant l'utilisation successive de plusieurs modes de transport (ce que l'on appelle le transport multimodal). Le public visé est dans un premier temps le public étudiant qui a ses spécificités, ses besoins sont variés, et les moyens de transports utilisés sont nombreux : co-voiturage, transports en commun, mobilités douces (vélo partagé, ...), etc. Le système donnera une grande importance aux préférences des utilisateurs afin de favoriser l'adoption des trajets proposés par l'outil par le plus grand monde, mais prendra également en compte le bilan carbone associé aux trajets proposés. Pour réaliser une planification pertinente, l'outil s'appuiera sur des algorithmes et méthodes issues de la recherche opérationnelle, couplés à des techniques d'intelligence artificielle.

Projet de thèse

Contexte scientifique

En 2017, la France s'est engagée à réduire ses émissions de gaz à effet de serre jusqu'à les diviser par 4 à l'horizon 2050 par rapport à 1990. Les trajets entre le domicile et le lieu d'activités représentant un tiers des émissions de CO_2 liées aux déplacements en véhicules particuliers mais ils représentent un enjeu majeur en matière de développement durable. Les établissements d'enseignements supérieurs et de recherche (universités, écoles d'ingénieurs, écoles de commerce, etc.) sont de forts générateurs de déplacements puisque des études montrent qu'environ 1/3 des étudiants utilisent leurs véhicules personnels pour se rendre sur leur lieu d'études [1]. C'est ainsi que la compréhension et l'optimisation de la mobilité de façon générale mais aussi du public étudiant sur ce type de déplacement peut jouer un rôle déterminant dans la réduction énergétique et de l'empreinte carbone.

De plus, la mise en place de différentes politiques restrictives de circulation, telles que les Zone à Faible Emission (ZFE), va faire évoluer les pratiques et habitudes de déplacement et plus particulièrement pour les plus précaires. Le déploiement de véhicules électriques et hybrides amène des questions liées aux infrastructures présentes dans les établissements ESR pour les accueillir en termes de stationnement et de disponibilité de bornes de recharge.

La littérature s'intéresse principalement aux déplacements des travailleurs [2] et il n'existe que peu de travaux prenant en compte les contraintes liées à la mobilité étudiante. Néanmoins, dans ce cadre, la plupart des travaux :

- Ne considèrent qu'un nombre restreint de moyen de transport pour proposer des trajets
- Ne prennent que peu en compte les objectifs bas carbone
- Ne considèrent pas une gestion des aléas et imprévus et/ou ne sont adaptés qu'à un seul type d'individu (typiquement des employés)

Il en résulte plusieurs axes d'amélioration par rapport à l'état de l'art. En effet, dans un objectif de minimisation de l'empreinte carbone, on estime que le covoiturage dynamique permet une réduction de plus de 500 kteq CO_2 /an, ce qui le place dans les moyens de transports à fort gains potentiels de gaz à Effet de Serre (GES) [3]. Ce gain sera d'autant plus important avec l'utilisation de véhicules électriques, qui tend à se généraliser, et qui devra donc nécessairement être prise en compte pour proposer une méthode pérenne. Il paraît alors primordial : (1) d'intégrer le co-voiturage qui est amené à évoluer vers du tout électrique, (2) de proposer une grande variété de mode de transports et notamment des modes doux afin que la méthode s'adapte à tout type de public des établissements ESR, (3) de quantifier l'impact carbone des modes de transport afin de proposer des trajets plus vertueux et (4) proposer une méthode qui puisse s'adapter aux imprévus. De plus, de par la précarité du public étudiant, qui pour rappel utilise pour 1/3 d'entre eux un véhicule personnel pour se rendre sur le lieu d'étude, une transformation des usages et des mobilités semble répondre aux grands enjeux environnementaux et aux inégalités sociales. Il est donc particulièrement intéressant d'accompagner la transformation de la mobilité des « usagers » de l'ESR, en proposant un outil de planification opérationnel qui prend conjointement en compte des objectifs bas carbone et de satisfaction de l'utilisateur.

Pour répondre à la problématique liée à la planification des modes de transport multimodal, qui est d'autant plus complexe dès lors que l'on souhaite prendre en compte de multiples objectifs qualitatifs et de multiples contraintes, on utilise des techniques de recherche opérationnelle. Pour résoudre ce type de problématiques, des méthodes à base d'heuristiques et/ou métaheuristiques sont généralement développées [4]. Il existe des métaheuristiques dites de trajectoire, qui vont améliorer une solution initiale étape par étape, en procédant à des changements mineurs, et celles dites de population, qui reposent sur la construction de plusieurs solutions en parallèle, et qui seront mutualisées afin d'en construire de meilleures. Pour tirer profit de ces différentes approches, de nombreuses méthodes hybrides existent, mettant en œuvre plusieurs métaheuristiques, afin de tirer profit des forces de chacune d'elles. Plus récemment, on observe un intérêt croissant à l'intégration des méthodes d'apprentissage avancées et/ou techniques d'intelligence artificielle (IA) aux métaheuristiques, notamment pour réduire le temps de calcul et/ou améliorer la qualité des solutions obtenues [5, 6]. Pour ce type d'hybridation, on pense principalement aux métaheuristiques de type algorithmes de fourmis ou essaim de particules, dont le principe de base repose sur un apprentissage de la structure du problème pour générer de meilleures solutions.

Sujet de thèse

Cette thèse de doctorat s'intéresse à la compréhension et à l'optimisation de la mobilité dans le contexte de l'ESR. Ainsi elle a pour objectif de développer un outil de planification des trajets de type domicile-campus dans un contexte dynamique, prenant en compte les aléas (retard d'un train, covoiturage annulé, etc). Un des axes d'étude est l'économie d'énergie et dans ce contexte, le partage d'un même véhicule via du covoiturage dynamique, ainsi que le transport multimodal favorisant des mobilités douces, paraissent être des solutions intéressantes. Un second axe important concerne la prise en compte des besoins de l'utilisateur au travers d'indicateurs de satisfaction, qui ont pour but d'assurer très largement l'adoption des trajets proposés par l'outil développé dans les campus. Afin d'évaluer ces besoins, diverses enquêtes seront menées au sein des campus participants au programme MobE, dont le but sera de récolter des données liées aux habitudes et attentes des usagers.

L'outil de planification devra prouver sa généricité en s'adaptant aux contraintes et spécificités des publics de l'ESR : principalement aux étudiants, mais aussi aux personnels et intervenants de ces établissements. Les contraintes et spécificités sont multiples dans le cadre d'activités de l'ESR. Par exemple :

- Les étudiants ont des contraintes horaires fermes, les cours débutant à heure fixe et les retards n'étant pas tolérés. La localisation et configuration des campus dans les différentes villes va engendrer des flux spécifiques de voyageurs qui vont influencer sur les parcours proposés.
- Les activités de la vie de campus donnent lieu à des déplacements sur des lieux précis pour des horaires variés.
- Les lieux d'habitations des étudiants (résidence universitaire, collocation) font qu'ils peuvent être regroupés en zones.
- Les emplois du temps des étudiants sont plus fluctuants que ceux des travailleurs, et ils ne peuvent pas faire de "télétravail". Il s'ensuit une demande quotidienne importante pour répondre aux divers aller-retours qu'ils peuvent être amenés à réaliser.
- Certains étudiants ont des emplois du temps aménagés, comme les étudiants-apprentis et ceux qui sont sportifs de haut niveau.

L'outil de planification prendra appui sur des métaheuristiques de la recherche opérationnelle telles que les algorithmes des fourmis ou des algorithmes génétiques. Des hybridations avec l'intelligence artificielle seront aussi envisagées.

Plusieurs questions de recherche sont associées à ce travail :

- Le développement d'un outil de planification de mobilité multimodal dans le contexte de l'ESR, prenant en compte de multiples objectifs de qualité.
- Evaluer le bilan carbone associé à chaque trajet ainsi que les économies d'énergies engendrées par les planifications proposées.
- Evaluer les performances de l'outil de planification avec des données terrain de mobilité étudiante.
- Interroger les limites de l'outil pour les autres acteurs des établissements ESR tels que les étudiants doctorants, le personnel enseignant, le personnel administratif.

Antériorité du sujet dans le laboratoire

Dans le cadre de la thématique « Gestion des systèmes de transports multimodaux » de l'équipe ingénierie et outils numériques de CESI LINEACT, des travaux de recherche et des projets locaux et nationaux sont d'ores et déjà engagés dans le cadre d'un dispositif TIGA porté par la métropole Rouen Normandie et d'une convention de collaboration scientifique avec TISSEO, opérateur de la mobilité de la métropole toulousaine, et CEREMA Sud-Ouest. Ce projet de thèse pourra également s'appuyer sur les travaux et compétences de l'équipe dans le domaine de la recherche opérationnelle notamment dans le cadre des travaux développés dans la thématique « Gestion et décision » qui adresse des problématiques de planification, d'ordonnancement dynamique et de pilotage dans les systèmes cyber-physiques notamment industriels

Programme de travail

<p>T0 :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lancement de la 1ère année de la formation doctorale ED SMI 432 • Etat de l'art sur les problèmes de mobilité étudiantes / salarié • Modélisation du problème 	<p>T0 + 6 mois :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Etude expérimentale et étude de complexité du problème • Amélioration du modèle
<p>T0 + 12 mois :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lancement de la 2ème année de formation doctorale • Intégration de méthodes de résolution (heuristique, métaheuristiques, etc.) • Etude expérimentale 	<p>T0 + 18 mois :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Séminaire mi-parcours de la formation doctorale • Intégration des techniques de l'IA pour améliorer la prise de décision en temps réel
<p>T0 + 24 mois :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lancement de la 3ème année de formation • Amélioration des méthodes de résolution • Logiciel d'aide à la décision intégrant les méthodes de résolution et KPIs développées 	<p>T0 + 30 mois :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rédaction du rapport de thèse et soutenance

Production scientifique/technique attendue

A notre connaissance, très peu de travaux ont été publiés sur ce sujet particulièrement prometteur. Outre le déploiement des algorithmes de résolutions développés, des communications et production scientifique de rang A ou B ainsi qu'au minimum un article dans un journal à fort facteur d'impact sont envisagées. De plus, l'évaluation des performances des algorithmes sur des données réelles de mobilité étudiante sera une priorité. Pour ce faire, nous comptons nous appuyer, tout du moins partiellement, sur les données qui seront récoltées sur les campus CESI dans le cadre programme MobE.

En complément des productions scientifiques attendues, cette thèse contribuera aux réalisations suivantes :

- Outil de planification et gestion du covoiturage et du transport multimodal intégrant le modèle développé et des indicateurs permettant d'évaluer le bilan carbone et la satisfaction de l'utilisateur. L'intégration de cet outil dans les services développés dans le cadre du programme sera réalisée conjointement avec l'équipe d'ingénierie du programme MobE.
- Recueil des données de mobilité étudiante via des enquêtes terrain
- Expérimentation du modèle sur les données de mobilité étudiante

Contexte

Présentation du laboratoire

CESI LINEACT (UR 7527), Laboratoire d'Innovation Numérique pour les Entreprises et les Apprentissages au service de la Compétitivité des Territoires, anticipe et accompagne les mutations technologiques des secteurs et des services liés à l'industrie et au BTP. La proximité historique de CESI avec les entreprises est un élément déterminant pour nos activités de recherche, et a conduit à concentrer les efforts sur une recherche appliquée proche de l'entreprise et en partenariat avec elles. Une approche centrée sur l'humain et couplée à l'utilisation des technologies, ainsi que le maillage territorial et les liens avec la formation, ont permis de construire une recherche transversale ; elle met l'humain, ses besoins et ses usages, au centre de ses problématiques et aborde l'angle technologique au travers de ces apports.

Sa recherche est organisée selon deux équipes scientifiques interdisciplinaires et deux domaines applicatifs.

- L'équipe 1 "Apprendre et Innover" relève principalement des Sciences cognitives, Sciences sociales et Sciences de gestion, Sciences et techniques de la formation et celles de l'innovation. Les principaux objectifs scientifiques visés sont la compréhension des effets de l'environnement, et plus particulièrement des situations instrumentées par des objets techniques (plateformes, ateliers de prototypage, systèmes immersifs...) sur les processus d'apprentissage, de créativité et d'innovation.
- L'équipe 2 "Ingénierie et Outils Numériques" relève principalement des Sciences du Numérique et de l'Ingénierie. Les principaux objectifs scientifiques portent sur la modélisation, la simulation, l'optimisation et l'analyse de données de systèmes cyber physiques. Les travaux de recherche portent également sur les outils d'aide à la décision associés et sur l'étude des interactions humains-systèmes notamment à travers les jumeaux numériques couplés à des environnements virtuels ou augmentés.

Ces deux équipes développent et croisent leurs recherches dans les deux domaines applicatifs de l'Industrie du Futur, de la Ville du Futur et des services numériques, soutenues par des plateformes de recherche, dédiées à l'Industrie du Futur et au Bâtiment du Futur.

Positionnement dans les thématiques de recherche du laboratoire

Le projet de thèse s'intègre dans l'équipe 2 ingénierie et outils numériques du laboratoire CESI LINEACT. Il s'articule autour des domaines applicatifs ville du futur et services numériques et porte sur la modélisation et l'optimisation de systèmes, ainsi que sur le traitement et l'analyse de données relatives aux processus de décision.

Ce projet de thèse s'inscrit dans le cadre du **programme de Certificat d'Economie d'Énergie (CEE) MobE**. Ce programme porté par CESI Ecole d'Ingénieurs qui vise à comprendre et optimiser la mobilité du public étudiant en faveur des économies d'énergie. Le Programme engage l'établissement dans une transformation de la mobilité du public étudiant via une approche intégrée d'analyse, d'apports méthodologiques et de diffusion large auprès des étudiants et des établissements d'enseignement supérieur.

Nous cherchons à **réduire l'empreinte carbone des déplacements étudiants** tout en proposant des alternatives efficaces basées notamment sur les **mobilités douces** (marche, vélo, trottinette...) mais aussi tout moyen de **mobilité, collectif ou individuel**, contribuant à une baisse des émissions de CO2 tel que les transports en commun ou le covoiturage.

Le Programme s'articule autour des axes suivants :

- Analyser et comprendre les leviers motivationnels de mobilité des étudiants puis imaginer les mobilités de demain de manière participative avec plus de 5000 étudiants.
- Organiser des événements de proximité sur le sujet de la mobilité dans les établissements d'enseignement supérieur avec des actions de terrain telles que la mise en place d'une communication adaptée au public jeune, de challenges de la mobilité, des challenges des ambassadeurs de mobilité.
- Accompagner la démarche d'établissements d'enseignement supérieur dans l'optimisation des mobilités étudiantes : 20 établissements impliqués directement pour établir leur diagnostic et 4 à 6 pilotes pour engager des plans de mobilité campus à l'aide des données et outils numériques.
- Pérenniser l'engagement des établissements d'enseignement supérieur dans la démarche de mobilité économe des étudiants en mettant à disposition l'ensemble de la synthèse, des analyses ainsi que des outils méthodologiques.

Ainsi, dans le cadre de ce programme, des travaux seront menés en parallèle de cette thèse, afin de prédire des trajets optimaux sur une fenêtre de temps donnée, à l'aide des données historiques des trajets antérieurs. Ces prédictions pourront être utilisées afin d'affiner les résultats de notre outil de planification, mais aussi de lui permettre une plus grande réactivité dans un contexte dynamique ou des événements imprévus peuvent survenir, comme des pannes ou embouteillages. Enfin, les travaux de l'équipe apprendre et innover sur la compréhension des leviers motivationnels de mobilité des étudiants pourront permettre d'intégrer ces facteurs dans les outils développés dans le cadre de ce programme.

Organisation de la thèse

Financement : *Programme MobE*

Lieu de travail : Strasbourg

Date de démarrage : 02/10/2023

Durée : 3 ans

Votre Recrutement

Ses Modalités : sur dossier et entretien.

Merci d'adresser votre candidature (CV + Lettre de motivation + relevés de note du M1 et M2) à scailard@cesi.fr et mfoucras@cesi.fr avec pour objet de mail : « **[Candidature] Thèse MobE - Planification** ».

Votre candidature devra comporter :

- **Un Curriculum-Vitae détaillé du candidat.** En cas de rupture dans le cursus universitaire, merci de donner une explication ;
- **Une lettre de motivation** explicitant ses motivations à poursuivre une thèse de doctorat ;
- **Les résultats** des deux dernières années d'études et les bulletins de notes correspondant ;
- Toute autre pièce que vous jugerez utile telle que des lettres de recommandation.

Merci de transmettre l'ensemble des documents au sein d'un fichier zip intitulé **NOM prénom.zip**.

Les candidatures seront traitées selon leur ordre d'arrivée, ainsi cette offre de thèse expirera dès lors qu'un candidat aura été sélectionné.

Vos compétences :

- Le candidat doit être titulaire d'un Master 2/diplôme d'ingénieur en informatique, génie industriel, mathématiques appliquées ou un autre domaine connexe.
- Bon niveau en programmation.
- Connaissance en recherche opérationnelle et optimisation combinatoire, dont notamment des connaissances sur les heuristiques, métaheuristiques et techniques de l'IA.
- Être autonome, avoir un esprit d'initiative et de curiosité,
- Savoir travailler en équipe et avoir un bon relationnel,
- Être rigoureux

Références.

- [1] Université de Bordeaux, Enquête Ménages Déplacements La mobilité étudiante, Rapport d'étude, 2010
- [2] Clifton, Kelly, and Christopher D. Muhs. "Capturing and representing multimodal trips in travel surveys: review of the practice." *Transportation research record* 2285.1 (2012) : 74-83.
- [3] Robert Clavel, Philippe Legrand. Le covoiturage dynamique : étude préalable avant expérimentation. [Rapport de recherche] Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU). 2009, 90 p., bibliographie, webographie, illustrations. hal-02164365
- [4] Osaba, Eneko, et al. "Good practice proposal for the implementation, presentation, and comparison of metaheuristics for solving routing problems." *Neurocomputing* 271 (2018): 2-8.
- [5] Abdel-Basset, Mohamed, Laila Abdel-Fatah, and Arun Kumar Sangaiah. "Metaheuristic algorithms: A comprehensive review." In *Computational intelligence for multimedia big data on the cloud with engineering applications* (2018) : 185-231.
- [6] Dokeroglu, Tansel, et al. "A survey on new generation metaheuristic algorithms." *Computers & Industrial Engineering* 137 (2019) : 106040.