



**DOSSIER DE
POUR THESE EN**

**CANDIDATURE
COTUTELLE**

**POUR LA RENTREE 2020
FINANCEMENT : BOURSE**

Dossier complété et revêtu des signatures à transmettre impérativement pour le :
13 mars 2020 au plus tard.

A la Direction de la Recherche et Valorisation
secretariat.recherche@univ-littoral.fr

Titre de la thèse :

Apprentissage profond de graphes pour la Gestion dynamique de la congestion routière

Laboratoire d'accueil ULCO : LISIC

Directeur de thèse ULCO : Pr. Denis Hamad

Laboratoire d'accueil partenaire (si connu) :

Laboratoire de Recherche en Réseaux, Informatique et Sécurité (LaRRIS)

Contact dans l'Université partenaire (si connu) :

Pr. Jacques Demerjian (jacques.demerjian@ul.edu.lb)

Dr. Joseph Constantin (cjoseph@ul.edu.lb)

X LIBAN - Université Libanaise

Pour ce dispositif, merci d'indiquer en plus :

En cours d'identification

- Thématique : (6)

- (1) La qualité de l'air
- (2) Le milieu aquatique
- (3) L'obésité, la nutrition et les activités sportives,
- (4) Les énergies propres et renouvelables
- (5) La gestion et le traitement des déchets
- (6) L'urbanisme

X LIBAN - CNRS Libanais

Pour ce dispositif, merci d'indiquer en plus :

- le nom du codirecteur étranger et le laboratoire partenaire

- Thématique : (6)

- (1) La qualité de l'air
- (2) Le milieu aquatique
- (3) L'obésité, la nutrition et les activités sportives
- (4) Les énergies propres et renouvelables
- (5) La gestion et le traitement des déchets
- (6) L'urbanisme

□ **ALGERIE - Université Badji Mokhtar d'Annaba (UBMA)**

- Thématique :

- (1) La gestion et le traitement des déchets,
- (2) L'aménagement littoral et portuaire,
- (3) Le milieu aquatique,
- (4) La surveillance et la gestion durable des Infrastructures.

□ **MAROC - Université Hassan II / HESTIM de Casablanca (UH2C)**

- Thématique :

- (1) Economie Gestion
- (2) Sciences et Technologies

□ **MAROC - Université Mohammed VI Polytechnique de Ben Guérir (UM6P)**

- Thématique :

- (1) Sciences pour l'ingénieur

□ **MAROC - Université Mohammed V de Rabat**

- Thématique :

- (1) Environnement, Milieux Littoraux Marins
- (2) Sciences et technologie
- (3) Santé
- (4) Sciences Humaines et Sociales

***LABORATOIRE D'ACCUEIL**

Nom du laboratoire d'accueil : LISIC

Nombre de HDR dans le laboratoire : 16

Nombre de thèses encadrées dans le laboratoire (rentrée 2019) : 26

Cotutelles en cours au sein du laboratoire : 11

Durée moyenne des thèses soutenues dans le laboratoire, sur la période 2013-2019 : 3,57 ans

ENCADREMENT

Nom, Prénom du directeur de laboratoire : Sébastien VEREL

Nom, Prénom du directeur de thèse (si différent du directeur de laboratoire) : Denis Hamad

Nombre de doctorats en préparation sous la direction du directeur de thèse : 3 (50% encadrement)

Avis détaillé du directeur de thèse :

Notre objectif dans ce projet est de développer des algorithmes d'apprentissage profond pour la partition des graphes. L'application est la gestion de la dynamique de la congestion routière. L'intérêt de notre démarche de combiner les graphes avec l'apprentissage profond tire un double avantage :

d'une part les graphes sont des outils efficaces pour la représentation des systèmes complexes et d'autre part, les méthodes d'apprentissage profond apportent une vision nouvelle de la classification avec applications dans les domaines supervisés et plus récemment non supervisés. Je suis très favorable à la poursuite de la collaboration avec l'UL à travers cette cotutelle.



Signature du directeur de thèse

Avis détaillé du directeur de laboratoire :

Cette thèse s'inscrit dans le cadre d'une collaboration existante entre notre laboratoire et le CNRS libanais, sur une thématique reconnue de l'équipe IMAP. Les approches proposées, incluant une approche deep learning, de partitionnement de graphes avec la dimension temporelle sont originales et constituent un challenge. Les travaux de thèse s'inscrivent à la fois dans le développement de méthodes d'apprentissage automatique (ML) du laboratoire, et du point de vue applicatif est relatif à d'autres travaux du laboratoire sur la mobilité urbaine. Pour toutes ces raisons, j'émet un avis favorable à son financement.



Signature du directeur de laboratoire

PROJET DE THESE

Intitulé du projet de thèse :

Apprentissage profond de graphes pour la gestion dynamique de la congestion routière

Domaine scientifique : Apprentissage de graphes

Résumé (1/2 page maxi.) :

La congestion routière est devenue prédominante en raison de l'augmentation rapide du nombre de véhicules et de la demande en transport. La congestion a attiré une grande attention en raison des préoccupations environnementales. Le partitionnement d'un réseau de transport en zones homogènes est très utile pour le contrôle du trafic étant donné que la congestion est spatialement corrélée dans les routes adjacentes et qu'elle se propage à différentes vitesses en fonction du temps. Afin d'étudier la faisabilité des stratégies de contrôle pour améliorer les performances des réseaux, nous nous concentrons au début par le partitionnement d'un réseau de transport basé sur la caractéristique spatiale de la congestion qui évolue en fonction du temps. Le groupement spectral a été appliqué avec succès dans la littérature pour le partitionnement du réseau de transport basé sur les caractéristiques spatiales de la congestion à un moment précis. Cependant, ce type de classification n'est pas adapté aux données qui changent en fonction du temps. Pour résoudre ce problème, nous sommes intéressés sur la façon d'obtenir des partitions qui évoluent en fonction du temps. Le problème a été peu étudié au cas de partitionnement d'un réseau de transport urbain. Un algorithme de groupement évolutif, qui incorpore la régularité temporelle, sera conçu afin de bien s'adapter au trafic actuel tout en ne s'écartant pas trop des précédents historiques.

Ensuite, un algorithme de partition doit être conçu pour grouper les jours similaires de l'année selon la caractérisation du trafic et la prédiction du trafic d'un nouveau jour en temps réel doit être réalisée en utilisant les réseaux de neurones profonds vu de leur temps de réponse très court et de leur capacité à régler leurs paramètres. Les résultats expérimentaux doivent être appliqués sur le réseau de transport d'une ville.

Projet de thèse (5 pages maxi.) :

Développer sur cinq pages :

- ❓ ***Le sujet de recherche choisi et son contexte scientifique***
- ❓ ***L'état du sujet dans le laboratoire et l'équipe d'accueil***
- ❓ ***Le programme et l'échéancier de travail***
- ❓ ***Les retombées scientifiques et économiques attendues***
- ❓ ***Les collaborations prévues et une liste de 10 publications maximum portant directement sur le sujet***

1. Contexte :

Les transports terrestres occupent une place majeure dans notre société, notamment en ville où les ralentissements aux heures de pointes peuvent avoir un impact notable sur l'organisation des activités et l'économie [1]. La plupart des embouteillages sont dus à des réseaux routiers imprévus, à des volumes de véhicules élevés et à la présence de zones de congestion critiques. Les problèmes de congestion routière ont augmenté récemment en raison de la croissance de la population et des différents changements de densité de population. De nos jours, le système de trafic est devenu très complexe car les changements de trafic sont incertains. Il est donc difficile de trouver une caractérisation de haute précision à l'aide d'un modèle de connaissance standard.

Les nouvelles technologies de l'information et de la communication ont permis de mettre en œuvre des systèmes de transport intelligents. A l'aide de multiples points de mesures répartis, un opérateur peut dénombrer les véhicules et en déduire la charge du réseau. Il peut réagir aux variations du trafic en régulant dynamiquement les flux de véhicules.

Des nombreuses approches ont été développées dans la littérature pour résoudre le problème de la congestion du trafic comme l'urbanisme qui prend en compte le nombre croissant de voitures dans les villes avant la construction de leur infrastructure [2] et la génération automatique de trajets afin d'optimiser le flux de trafic [3]. D'autres recherches récentes tentent de prédire la congestion du trafic dans les grandes villes. Une approche plus spécifique pour résoudre le problème des embouteillages est le partitionnement des routes en fonction de la congestion du trafic [4].

Afin d'étudier la faisabilité de la stratégie de contrôle pour améliorer les performances des réseaux routiers, nous nous concentrons dans ce projet à développer un modèle qui s'articule autour de la dynamique du trafic à différentes échelles de temps : par exemple au niveau heures, jours, ou semaines.

A l'échelle d'un jour, le partitionnement d'un réseau routier en groupes homogènes peut être extrêmement utile pour le contrôle du trafic compte tenu du fait que la congestion est spatialement corrélée dans les routes adjacentes et se propage à différentes vitesses en fonction du temps.

En effet, les algorithmes statiques de partition ont été appliqués avec succès pour le partitionnement d'un réseau de transport à une période de temps spécifique. Cependant, ces algorithmes ne sont pas adaptés à des objets qui évoluent en fonction du temps [4].

De plus, des algorithmes incrémentaux de partition ont été appliqués dans un environnement dynamique pour gérer les changements de similitude entre les objets. Cependant, l'objectif de ces algorithmes revient à améliorer l'efficacité du calcul au prix d'une qualité de partition inférieure. Nous nous intéressons sur la manière d'obtenir des partitions qui évoluent en fonction du temps, un problème qui a été peu étudié au cas de partitionnement d'un réseau de transport urbain [5].

En effet, des algorithmes de partition évolutive ont été appliqués pour la gestion dynamique de la congestion routière dans le cadre d'un projet en cotutelle de thèse entre l'Université Libanaise et l'Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO). Il a été prouvé que ces algorithmes sont puissants pour regrouper les objets évoluant en fonction du temps [6-7]. Ils surpassent généralement les algorithmes de partitions statiques traditionnels en produisant des résultats qui peuvent s'adapter aux dérives de données tout en étant robustes au bruit à court terme. Un inconvénient majeur de ces algorithmes est donné par leur complexité de calcul cubique et un grand besoin en mémoire ce qui rend difficile la gestion d'ensembles d'objets caractérisés par un grand nombre de modèles.

Dans ce projet, nous allons traiter ce problème en développant des algorithmes de partition évolutifs et efficaces comparés aux algorithmes évolutifs incrémentaux et les algorithmes basés sur les pics de densité [8]. Ces algorithmes de partition doivent incorporer la régularité temporelle afin de bien s'adapter au trafic courant tout en ne s'écartant pas trop des précédents historiques.

Ensuite, un algorithme regroupant les jours par leurs motifs de congestion doit être envisagé à l'échelle de plusieurs jours puis il doit prédire le trafic d'un nouveau jour en utilisant l'apprentissage profond (Deep Learning en Anglais) [9]. Les algorithmes d'apprentissage profond sont un sous-ensemble des algorithmes de machine learning, qui visent à découvrir plusieurs niveaux de représentations distribuées.

L'apprentissage profond a révolutionné l'intelligence artificielle depuis quelques années. Il permet de réaliser un apprentissage de manière supervisée en exigeant un grand coût de calcul et sous réserve d'avoir une très grande base d'apprentissage. Pour remédier à ces limitations, les algorithmes d'apprentissage profond non supervisés basés graphes ont récemment été proposés, étant donné que le matériel spécialisé est maintenant disponible pour leur implémentation [10]. Cependant, de nombreux efforts restent à faire pour améliorer le réglage de leurs paramètres. Notre objectif sera donc à développer un algorithme d'apprentissage robuste pour la prédiction du trafic d'un nouveau jour en utilisant les algorithmes à apprentissage profond. Une étude du temps concernant la réponse du modèle en temps réel sera réalisée pour valider nos recherches.

Notre modèle doit être testé sur les données d'un réseau routier. Le sujet de thèse s'appuiera sur un projet financé par l'Université Libanaise. Nous mettrons à profit notre compétence en développement de la communication sans fil de haut débit, nos compétences en analyse et synthèse d'images et notre expérience dans le domaine du contrôle et d'apprentissage. Nous ferons appel aux compétences en gestion de trafic routier de l'Institut IFSTTAR de Villeneuve d'Ascq avec lesquels nous avons déjà entamé une coopération. La thèse sera dirigée en cotutelle entre l'ULCO-laboratoire LISIC et l'Université Libanaise-laboratoire de Recherche en Réseaux, Informatique et Sécurité (LaRRIS).

2- État du sujet dans le Laboratoire et l'équipe d'accueil :

Le travail proposé constitue un prolongement scientifique d'une cotutelle de thèse entre l'Université Libanaise et l'Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO) financée par l'ULCO et l'Agence universitaire de la Francophonie (AUF) avec le Conseil national de la recherche scientifique au Liban (CNRS-L) à travers une bourse de doctorat sous l'ARCUS Projet E2D2. Parmi les 10 publications en référence, deux d'entre elles concernent directement la thématique abordée.

3- Échéancier de travail :

L'échéancier suivant est proposé :

Octobre 2020-Octobre 2021 :

Étude bibliographique concernant l'apprentissage supervisé et non supervisé.

Compréhension de la problématique concernant la caractérisation du trafic routier.

Octobre 2021- Octobre 2022 :

Modélisation du contexte routier et développement des algorithmes d'apprentissage évolutif non-supervisé et profond qui incorporent la régularité temporelle pour la prédiction de la congestion routière.

Octobre 2022- Octobre 2023 :

Comparaison du modèle avec des méthodes d'apprentissage classiques et validation des résultats. Rédaction de la thèse.

4- Les retombées scientifiques et économiques attendues :

Ce projet de recherche apportera un éclairage sur le rôle que peut jouer notre modèle dans l'amélioration de la mobilité urbaine. On proposera ainsi des recommandations pour un système de transport optimal, permettant d'aider des conducteurs de véhicules et réduire les coûts et le temps de transport pour le pays Liban. En effet, les problèmes de congestion routière ont augmenté au Liban à cause de la croissance démographique et les changements dans la densité de la population. En particulier, les autoroutes à Beyrouth qui sont souvent encombrées entraînent un retard important pour arriver à destination et une forte pollution.

Ces travaux de recherche nous permettrons de renforcer d'une part les collaborations entre l'ULCO et l'Université Libanaise et de participer d'autre part à des projets ambitieux.

5- Collaborations prévues :

Nous prévoyons faire une collaboration avec Le laboratoire ERIC de l'université de Lyon. En effet, nos travaux de recherches et la construction de la base de données seront réalisés avec l'aide de Dr. Clélia Lopez du laboratoire ERIC. Nous travaillons en collaboration avec l'institut FEMTO-ST de l'université de Belfort-Montbéliard autour de l'apprentissage profond. Ce projet de thèse nous permettrait de pouvoir prendre une avance scientifique dans ce domaine de recherche.

References

- [1] D. Pojani, D. Stead, Sustainable Urban Transport in the Developing World: Beyond Megacities, *Sustainability* 7 (7) (2015) 7784-7805.
- [2] S. Ognjenovi, Z. Zafirovski, N. Vatin, Planning of the traffic system in urban environments, *Procedia Engineering* 117, (2015) 574-579.
- [3] X. Lianga, G. H. de Almeida Correiaa, B. van Arema, An optimization model for vehicle routing of automated taxi trips with dynamic travel times, *Transportation Research Procedia* 27, (2017) 736-743.
- [4] C. Lopez, L. Leclercq, P. Krishnakumari, N. Chiabaut, H. V. Lint, Revealing the day-to-day regularity of urban congestion patterns with 3D speed maps, *Scientific Report* (14029) (2017) 1-11.
- [5] R. Langone, M. V. Barel, J. A. Suykens, Efficient evolutionary spectral clustering, *Pattern Recognition Letters* 84 (2016) 78-84.
- [6] P. Al Alam, D. Hamad, J. Constantin, I. Constantin, and Y. Zaatari, Dynamic Partitioning of Transportation Network using Evolutionary Spectral Clustering, *International Conference on Smart Applications and Data Analysis for Smart Cyber-Physical Systems (SADASC'20)*, Morocco, March 25-27, (2020).
- [7] P. Al Alam, D. Hamad, J. Constantin, I. Constantin, Y. Zaatari, Evolutionary spectral clustering algorithm for dynamic partitioning of transportation network, *Conference Pattern Recognition and Tracking XXXI, Symposium: SPIE Defense + Commercial Sensing*, Anaheim, California United States, 26 - 30 April (2020).
- [8] S. Sieranoja and P. Fränti, Fast and general density peaks clustering, *Pattern Recognition Letters*, Volume 128, 1 December (2019), Pages 551-558.
- [9] Fei Tian et al. Learning deep representations for graph clustering. *AAAI Conference on Artificial Intelligence*, Pages 1293-1299, July 2014.
- [10] Shaham U. et al. SpectralNet: Spectral Clustering using Deep Neural Networks. *6th Int. Conference on Learning Representations*, Vancouver, BC, Canada, April 30 - May 3, 2018.