

**Titre de la thèse :**

Étude des arbres couvrants optimisés et de leur application dans les réseaux

**Laboratoire d'accueil :**

Laboratoire d'Informatique de Bourgogne (LIB EA 5234), Université de Bourgogne, Dijon

**Spécialité du doctorat préparé :**

Informatique

**Mots-clefs :**

Arbre couvrant ; Graphe ; Optimisation ; Algorithme ; Réseaux

**Descriptif détaillé de la thèse**

**Contexte :** Tout graphe connexe qui contient des cycles possède plusieurs arbres couvrants. Définir et utiliser plusieurs arbres couvrants dans un graphe ou encore un réseau peut se révéler utile (par exemple dans un réseau Internet des objets (IoT), mesh, ad-hoc ou de Data center [2, 13, 11, 17]), grâce à une amélioration de la fiabilité de la qualité de service (QoS) dans ces réseaux en particulier si l'on optimise la disjonction entre ces arbres. Plusieurs niveaux de disjonction ont donc été définis et étudiés [5]; le plus récent et le plus contraint étant celui d'arbres complètement indépendants : les arbres couvrants  $T_1, T_2, \dots, T_k$  d'un graphe  $G$  sont des arbres couvrants complètement indépendants (ACCI) si pour tous sommets  $x$  et  $y$  de  $G$ , les chemins de  $x$  à  $y$  dans les  $T_i$  sont deux à deux disjoints excepté aux extrémités.

Depuis son introduction par Hasunuma en 2001 [8], le problème des ACCI a fait l'objet de nombreux travaux. Le problème de trouver deux ACCI dans un graphe est connu pour être NP-complet [10]. Araki [1] a donné une condition suffisante à la Dirac pour qu'un graphe possède  $k$  ACCI. Différents auteurs ont prouvé l'existence de 2 ou 3 ACCI dans des variantes de l'hypercube [14, 4, 16, 3]. Il y a aussi des résultats partiels pour les graphes planaires [9], les produits de graphes [10, 6], les  $k$ -arbres [12] et certains graphes de Cayley [15]. Étant donné que de nombreux graphes ne contiennent même pas 2 ACCI, Darties et al. [7] ont introduit une relaxation du problème : les  $(i,j)$ -ACCI dans lesquels on se permet au plus  $i$  sommets internes communs et au plus  $j$  arêtes internes communes au total entre tous les arbres couvrants.

**Travaux envisagés :** Ce projet de thèse a pour objectif de lever plusieurs verrous de recherche et de proposer des solutions innovantes. Nous spécifions à ce titre comme axes de recherche l'étude des ACCI et  $(i,j)$ -ACCI optimisés de façon théorique (preuves d'existence/non existence), algorithmique (heuristiques, complexité paramétrée) et appliquée (utilité de ces structures pour répondre à des problématiques dans les réseaux émergents tels que l'Internet des objets et les réseaux 5G et 6G). En particulier, parmi les points d'entrée possibles, on peut citer :

- Trouver plusieurs ACCI ou  $(i,j)$ -ACCI optimisés (avec  $i$  et/ou  $j$  petit) dans de nouvelles classes de graphes, par exemple les graphes circulants et les graphes de kneser et/ou optimiser le diamètre maximum (ou la distance moyenne) des arbres couvrants construits ;
- Proposer des méthodes heuristiques pour trouver des ACCI ou  $(i,j)$ -ACCI dans un graphe quelconque et le tester sur des instances de graphes ainsi que des réseaux du monde réel ;
- Étudier l'applicabilité des ACCI et  $(i,j)$ -ACCI dans le domaine des réseaux, sur les environnements actuels et émergents (Internet des objets (IoT), Nouvelles générations des réseaux mobiles 5G/6G, Cloud Computing/Networking, VANET, etc.).

## Références bibliographiques

- [1] T. Araki. Dirac's condition for completely independent spanning trees. *Journal of Graph Theory*, 77(3):171–179, 2014.
- [2] H. Bargaoui, N. Mbarek, O. Togni, and M. Frikha, [Hybrid QoS based routing protocol for inter and intra wireless mesh infrastructure communications](#), *J. Wireless Networks*, 22(7): 2111-2130, 2016.
- [3] G. Chen, B. Cheng, and D. Wang. Constructing completely independent spanning trees in data center network based on augmented cube. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 32(3):665–673, 2020.
- [4] B. Cheng, D. Wang, and J. Fan. Constructing completely independent spanning trees in crossed cubes. *Discrete Applied Math.*, 219:100–109, 2017.
- [5] B. Cheng, D. Wang, and J. Fan. Independent spanning trees in networks: A survey. [ACM Computing Surveys](#) 55(14s), 2023.
- [6] B. Darties, N. Gastineau, and O. Togni. Completely independent spanning trees in some regular graphs. *Discrete Applied Math.*, 217:163–174, 2017.
- [7] B. Darties, N. Gastineau, O. Togni, [Almost disjoint spanning trees: relaxing the conditions for completely independent spanning trees](#), *Discrete Applied Math.*, Volume 236, 19 February 2018, Pages 124-136.
- [8] T. Hasunuma. Completely independent spanning trees in the underlying graph of a line digraph. *Discrete math.*, 234(1-3):149–157, 2001.
- [9] T. Hasunuma. Completely independent spanning trees in maximal planar graphs. In 28th Int. Workshop, WG 2002 Czech Republic, 2002 Revised Papers 28, pages 235–245. Springer, 2002.
- [10] T. Hasunuma and C. Morisaka. Completely independent spanning trees in torus networks. *Networks*, 60(1):59–69, 2012.
- [11] X.-Y. Li, W. Lin, X. Liu, C.-K. Lin, K.-J. Pai, and J.-M. Chang. Completely independent spanning trees on bccc data center networks with an application to fault-tolerant routing. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 33(8):1939–1952, 2021.
- [12] M. Matsushita, Y. Otachi, and T. Araki. Completely independent spanning trees in (partial)  $k$ -trees. *Discussiones Mathematicae: Graph Theory*, 35(3), 2015.
- [13] A. Moinet, B. Darties, N. Gastineau, J.-L. Baril, and O. Togni. Completely independent spanning trees for enhancing the robustness in ad-hoc networks. In 2017 IEEE WiMob, Conference, pages 63–70, 2017.
- [14] K.-J. Pai and J.-M. Chang. Constructing two completely independent spanning trees in hypercube-variant networks. *Theoretical Computer Science*, 652:28–37, 2016.
- [15] K.-J. Pai, R.-S. Chang, and J.-M. Chang. Constructing dual-cists of pancake graphs and performance assessment of protection routings on some cayley networks. *The Journal of Supercomputing*, 77(1):990–1014, 2021.
- [16] K.-J. Pai, R.-S. Chang, R.-Y. Wu, and J.-M. Chang. Three completely independent spanning trees of crossed cubes with application to secure-protection routing. *Information Sciences*, 541:516–530, 2020.
- [17] B. Yao *et al.*, "Applying Graph theory to the Internet of Things," *2013 IEEE 10th International Conference on High Performance Computing and Communications & 2013 IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing*, Zhangjiajie, China, 2013, pp. 2354-2361, doi: 10.1109/HPCC.and.EUC.2013.339.

## Profil demandé

Nous recherchons un bon candidat (Master 2 ou Ingénieur ou équivalent en Informatique/Mathématiques) avec des compétences dans le domaine des graphes et des réseaux :

- Théorie des graphes, Technologies utilisées dans les réseaux : architecture TCP/IP
- Simulation des réseaux : NS3/ NS2/OMNET++
- Programmation orientée objet : C++ / Java

**Financement : MESRI Etablissement**

Dossier à envoyer pour le 1<sup>er</sup> Juin 2024  
Début du contrat : 1<sup>er</sup> Octobre 2024  
Salaire mensuel brut : 2100€

**Direction de la thèse :**

Olivier TOGNI, Professeur, Responsable de l'équipe CombNet, [Olivier.Togni@u-bourgogne.fr](mailto:Olivier.Togni@u-bourgogne.fr)

**Encadrement de la thèse : co-directeur et co-encadrant**

Nader MBAREK, Professeur, Directeur Adjoint du LIB, [Nader.Mbarek@u-bourgogne.fr](mailto:Nader.Mbarek@u-bourgogne.fr)

Mohammed LALOU, Maître de Conférences, [Mohammed.Lalou@u-bourgogne.fr](mailto:Mohammed.Lalou@u-bourgogne.fr)

Le dossier constitué par les éléments suivants est à envoyer par email à [Olivier.Togni@u-bourgogne.fr](mailto:Olivier.Togni@u-bourgogne.fr) ; [Nader.Mbarek@u-bourgogne.fr](mailto:Nader.Mbarek@u-bourgogne.fr) et [Mohammed.Lalou@u-bourgogne.fr](mailto:Mohammed.Lalou@u-bourgogne.fr) :

- ✓ un CV détaillé
- ✓ une lettre de motivation pour la recherche
- ✓ les relevés de notes et résultats en Licence, M1, M2, ou équivalent (veuillez indiquer votre classement et le nombre d'étudiants de la formation)
- ✓ Au moins une lettre de recommandation