



HAL
open science

Cache ta topo, je place quand même

Yanis Achaichia, Christelle Caillouet, Nicolas Huin, Géraldine Texier

► To cite this version:

Yanis Achaichia, Christelle Caillouet, Nicolas Huin, Géraldine Texier. Cache ta topo, je place quand même. ALGOTEL 2026 - 28es Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications, Jun 2026, Mandelieu-la-Napoule, France. <hal-05603097>

HAL Id: hal-05603097

<https://hal.science/hal-05603097v1>

Submitted on 27 Apr 2026

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

Cache ta topo, je place quand même

Y. Achaichia¹ et C. Caillouet¹ et N. Huin² et G. Texier²

¹Université Côte d’Azur, Inria, I3S UMR CNRS 7271, Sophia Antipolis, France

²IMT Atlantique, IRISA UMR CNRS 6074, Rennes, France

La virtualisation des fonctions réseau et les réseaux programmables ont ouvert la voie à la commercialisation des ressources réseau. La mise en place de slices impliquant plusieurs fournisseurs d’infrastructure (InP) suppose une approche multi-domaine. Effectuer de bons placements de slices nécessite un partage d’informations précises des ressources disponibles. Cependant, les domaines réseaux exigent la confidentialité et cherchent donc à partager le moins d’informations possible sur leur infrastructure. En particulier, les InP sont réticents à exposer leur topologie réseau et les quantités de ressources disponibles (bande passante et délai). Nous proposons BLEND, une méthode qui permet aux fournisseurs de construire une abstraction de leur réseau et de partager une vue partielle de leurs ressources tout en conservant un haut degré de confidentialité. De plus, BLEND offre aux InP un moyen de générer des abstractions avec différents compromis entre les contraintes de délai et de bande passante. Nos résultats, obtenus sur une topologie de référence de SNDlib, montrent que la possibilité d’ajuster l’abstraction en fonction des caractéristiques des requêtes est déterminante pour maximiser le taux d’acceptation des slices.

Mots-clefs : Abstraction de topologies, multi-domaine, Virtual Network Embedding, slicing

1 Introduction

La virtualisation des fonctions réseau (NFV) et les réseaux programmables (SDN) ont profondément transformé la conception et l’exploitation des infrastructures réseau, ouvrant ainsi le marché des ressources réseau. Le placement de services réseau virtualisés (les *slices*), nécessitant des ressources en bande passante, calcul et stockage, est généralement formulé comme un problème de *Virtual Network Embedding* (VNE), consistant à plonger un réseau virtuel sur une infrastructure physique tout en optimisant l’utilisation des ressources [SDL20]. Dans un environnement multi-domaine (MD-VNE), ce problème se complexifie : les opérateurs d’infrastructure (InP) doivent collaborer sans divulguer leurs topologies internes ni leurs capacités précises [CYHD22, WPH⁺11]. La difficulté ne réside plus uniquement dans l’algorithme de placement, mais aussi dans la manière dont les ressources sont représentées et partagées entre domaines.

L’abstraction de topologie apparaît ainsi comme un mécanisme central. Elle doit exposer suffisamment d’informations pour permettre un placement faisable et performant, tout en préservant la confidentialité des opérateurs. La question de la standardisation de l’abstraction des réseaux suscite un intérêt croissant, notamment dans le cadre défini par la RFC 8453 proposant une architecture pour l’abstraction et le contrôle des réseaux orientés ingénierie de trafic [CL18], complété par des travaux étendant ces principes aux métriques opérationnelles et au support du slicing [RCRGS24, KDZF24]. Les abstractions sont généralement construites soit selon une approche descendante (*legacy*) consistant à créer un maillage complet entre les nœuds de bordure d’un domaine et à associer à chaque lien abstrait des métriques agrégées [JK20, SLY⁺19], ou selon une approche récursive à partir de la topologie initiale par des opérations de suppression d’arêtes ou de fusion de nœuds [PAB⁺24, KLRW13].

Nous proposons BLEND, une méthode d’abstraction *legacy* qui permet aux InP de partager une vue partielle de leurs ressources tout en conservant un haut niveau de confidentialité. Elle repose uniquement sur des informations publiques relatives aux nœuds de bordure, tout en posant le défi d’annoncer des métriques suffisamment représentatives des capacités réelles sans révéler la

$$\sum_{a \in \delta_v^+} x_a^c - \sum_{a \in \delta_v^-} x_a^c = \begin{cases} \sum_{a \in \delta_{s_c}^+} x_a^c & \text{si } v = s_c \\ -\sum_{a \in \delta_{s_c}^+} x_a^c & \text{si } v = t_c \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad \forall c \in \mathcal{C}, \forall v \in V$$

$$\sum_{c \in \mathcal{C}} x_a^c \leq B_a \quad \forall a \in A$$

$$y \leq \sum_{a \in \delta_{s_c}^+} x_a^c \quad \forall c \in \mathcal{C}$$

Figure 1 : Modèle du multi-flot (MCF). En plus des contraintes de conservation de flots classiques, et des contraintes de bande passante, la dernière contrainte permet de borner la plus petite commodité.

structure interne du réseau. Les brokers (courtiers) peuvent ensuite agréger ces abstractions pour résoudre le problème de plongement de réseaux virtuels multi-domaines afin d'intégrer des slices.

2 BLEND – Bandwidth and deLay-awarE Network abstraction Design

BLEND est un algorithme d'abstraction de topologie à destination des InPs pour permettre le placement (pseudo-)centralisé de slices en multi-domaine sans échange de données sensibles. L'intérêt principal des abstractions générées est de proposer une vue la plus fidèle possible de l'infrastructure et de ses ressources pour le placement de slices. Le placement centralisé réduit les échanges de messages entre InP lors du processus de placement. Les abstractions générées par BLEND, sous forme d'un graphe complet entre les nœuds de bordure, minimisent la quantité de messages nécessaires, car elles garantissent un *sous-provisionnement* du réseau : toute requête de placement sur l'abstraction sera valide sur le vrai réseau. L'algorithme se déroule en deux phases.

2.1 Bande passante

La première phase de BLEND calcule les métriques de capacité en bande passante des liens abstraits grâce à un multi-flot à multi-objectifs hiérarchiques (présenté dans la Figure 1). En modélisant un flot pour chaque paire de noeuds de bordure sur la topologie initiale où chaque arc a a pour capacité B_a , les contraintes de partage de cette bande passante sont respectées dans l'abstraction. Les variables x_a^c représentent les quantités de flot traversant les arcs a pour chaque commodité c , et la variable y représente une borne inférieure sur les valeurs de flot de chaque commodité.

Notre objectif principal maximise y afin de distribuer équitablement la bande passante entre les paires de noeuds de bordure. Lors d'une première passe du multi-flot, la fonction objectif est donc $z = \max y$. L'objectif secondaire maximise la totalité de la bande passante à annoncer. Pour ce faire, une nouvelle contrainte est ajoutée : $y \geq z$. Ceci force la valeur de y à rester maximale pour la deuxième passe. La fonction objectif devient ensuite $z' = \max \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{a \in \delta_{s_c}^+} x_a^c$.

Les flots de chaque commodité donnent un ensemble de sous-graphes $G^c = (V^c, A^c)$ du réseau principal. Les arcs de ces sous-graphes ont des capacités b_a^c fixées par le flot x calculé ci-dessus. Ces sous-graphes représentent les arcs de l'abstraction : toute slice placée dans ce sous-graphe peut être placée dans le réseau principal. Ceci maintient la garantie de sous-provisionnement de l'abstraction. Chaque commodité est donc associée à un arc abstrait entre deux nœuds de bordure dans l'abstraction, présentant une capacité initiale de $f_c^{\max} = \sum_{a \in \delta_{s_c}^+} b_a^c$.

2.2 Délai

La deuxième phase de BLEND calcule les métriques de délai à annoncer à partir des sous-graphes précédemment obtenus. Pour un lien abstrait représentant un ensemble de chemins, le délai de ce lien prendrait naturellement la valeur du plus long délai des chemins de l'ensemble. Dans notre

Cache ta topo, je place quand même

$$z' = \max \sum_{p \in P} x_p$$

$$\sum_{p \in P | a \in p} x_p \leq b_a \quad \forall a \in A^c$$

Figure 2 : Modèle de vérification de la condition d'arrêt des k -plus courts chemins.

cas, le lien abstrait représente un sous-graphe G^c correspondant à un flot d'une commodité. Il faut donc trouver une décomposition de ce flot minimisant la longueur (en délai) du plus long chemin. Ce problème NP-difficile est connu sous le nom de *Shortest Longest Path* [Ohs16].

Afficher une grande capacité disponible peut engendrer l'existence d'un nombre important de chemins dans la décomposition du flot correspondant. Réduire la capacité affichée permet de réduire le nombre de chemins dans la décomposition et donc potentiellement le plus long délai, permettant le placement de services pouvant nécessiter moins de bande passante que celle affichée sur l'abstraction, mais un délai plus restreint.

Pour cela, nous introduisons un scalaire $\alpha \in [0, 1]$ limitant la bande passante annoncée pour chaque lien abstrait. Pour calculer le délai d'un lien abstrait en ayant fixé α , nous utilisons un algorithme basé sur celui des k plus courts chemins dans le sous-graphe associé G^c jusqu'à ce que l'ensemble des capacités des chemins générés atteigne la valeur αf_c^{\max} . En résolvant le programme linéaire donné dans la Figure 2, si $z'^* \geq \alpha f_c^{\max}$, il existe une décomposition avec l'ensemble de chemins calculés par l'algorithme des k plus courts chemins.

Une fois la condition d'arrêt atteinte, le délai à annoncer sur l'arc abstrait sera égal à celui du dernier chemin généré. Cette modélisation conserve à nouveau le sous-provisionnement de l'abstraction car toute contrainte de délai d'une requête étant valide sur l'abstraction est également valide sur le réseau original.

3 Résultats

Nous évaluons BLEND en analysant l'impact du paramètre α sur la qualité de l'abstraction, en comparant les résultats du solveur optimal de placement de slices proposé par [THAT⁺23], appliqué à la topologie originale (servant de référence) puis aux topologies abstraites correspondantes. Les tests sont menés sur la topologie Nobel-Germany de la collection SNDlib [OWPT07], à laquelle nous appliquons BLEND en faisant varier le paramètre α entre 0 et 1. À partir de cette topologie, nous générons plusieurs instances en introduisant de la variabilité sur les ressources initiales des liens (en bande passante et délai). Nous considérons les slices à placer comme des requêtes de routage générées aléatoirement entre tous les couples de nœuds de bordure. Les demandes en bande passante et délai sont choisies selon trois niveaux de contrainte : faible, moyen ou élevé, définis de manière à rester du même ordre de grandeur que les métriques du réseau sous-jacent. Pour chaque configuration, l'objectif est de maximiser le nombre de slices placées, en utilisant le même ensemble de requêtes pour le graphe original et pour les abstractions. Nous évaluons la qualité de l'abstraction en calculant le ratio entre le nombre de requêtes acceptées et placées sur la topologie abstraite et celui obtenu sur le graphe original, appelé *Service Acceptance* (SA).

La Figure 3 présente l'évolution de ce taux d'acceptation (SA) en fonction des valeurs de α , pour différents niveaux de contrainte appliqués au délai (axe des abscisses) et à la bande passante (axe des ordonnées). Nous observons que l'augmentation des contraintes en bande passante a un impact limité sur le SA, car elle réduit de manière similaire le nombre de slices pouvant être placées aussi bien sur le réseau original que sur l'abstraction. En revanche, le renforcement des contraintes en délai affecte fortement le SA, puisqu'il peut empêcher le placement d'un nombre important de requêtes sur l'abstraction lorsque les chemins calculés ne satisfont pas leurs demandes. L'augmentation de α a pour conséquence un changement de délai annoncé sur l'abstraction, impliquant une

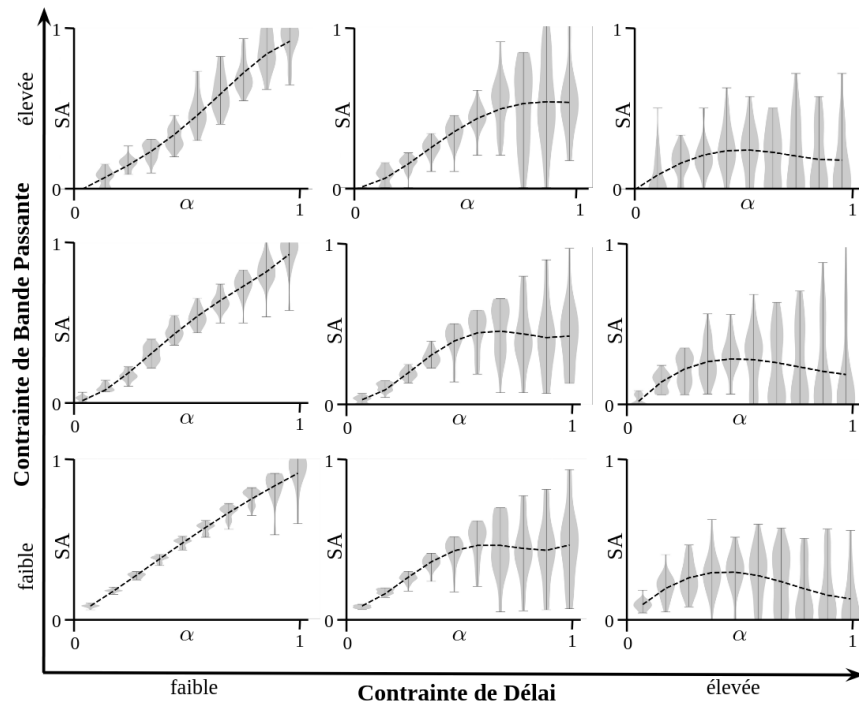


Figure 3 : Impact des contraintes de bande passante et délai sur le taux d’acceptation dans l’abstraction.

chute du nombre de requêtes acceptées. Cela se répercute en une baisse du SA visible sur la figure.

Ces résultats montrent ainsi que la valeur optimale de α pour laquelle le SA est maximum dépend étroitement du type de requêtes considéré, en particulier en terme de besoin en délai.

4 Conclusion

Dans ce travail, nous avons proposé BLEND, une méthode d’abstraction pour le VNE multi-domaine n’exposant qu’un maillage des nœuds de bordure, afin de préserver la confidentialité des domaines tout en réduisant les échanges de messages pour le placement de slices. BLEND ajuste les métriques de bande passante et de délai grâce au paramètre α , permettant de générer des abstractions sous-provisionnées adaptées aux caractéristiques des requêtes. Les résultats montrent qu’une valeur intermédiaire de ce paramètre permet de maximiser le taux d’acceptation des services, tandis que des valeurs trop faibles ou trop élevées dégradent les performances. L’étude des temps de calcul (non présentée ici) indique que, si l’abstraction reste rapide à calculer pour des réseaux de taille modérée, le temps de résolution augmente fortement avec la taille du réseau en raison de la complexité exponentielle du calcul du délai associé à l’abstraction. Ces conclusions confirment l’intérêt d’une abstraction paramétrable pour concilier efficacité de placement et confidentialité, tout en soulignant la nécessité d’optimiser la phase de calcul des délais pour améliorer le passage à l’échelle des topologies considérées.

Références

- [CL18] Daniele Ceccarelli and Young Lee. Framework for Abstraction and Control of TE Networks (ACTN). RFC 8453, August 2018.
- [CYHD22] Josué Castañeda Cisneros, Sami Yanguï, Saul E. Pomares Hernández, and Khalil Drira. A survey on distributed nfv multi-domain orchestration from an algorithmic functional perspective. *IEEE Communications Magazine*, 60(8):60–65, 2022.

- [JK20] Kalpana D. Joshi and Kotaro Kataoka. pSMART : A lightweight, privacy-aware service function chain orchestration in multi-domain NFV/SDN. *Computer Networks*, 178:107295, September 2020.
- [KDZF24] Daniel King, John Drake, Haomian Zheng, and Adrian Farrel. Applicability of Abstraction and Control of Traffic Engineered Networks (ACTN) to IETF Network Slicing. Internet-draft, IETF, August 2024.
- [KLRW13] Nanxi Kang, Zhenming Liu, Jennifer Rexford, and David Walker. Optimizing the "one big switch" abstraction in software-defined networks. In *9th ACM Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies*, CoNEXT, page 13–24, 2013.
- [Ohs16] Jan Peter Ohst. *On the construction of optimal paths from flows and the analysis of evacuation scenarios*. PhD thesis, Universität Koblenz-Landau, 2016.
- [OWPT07] S. Orlowski, R. Wessaly, M. Piore, and A. Tomaszewski. Sndlib 1.0 : Survivable network design library. In *International Network Optimization Conference (INOC)*, 2007.
- [PAB⁺24] Stanislas Pedebearn, Slim Abdellatif, Pascal Berthou, Dariusz Nogalski, and Dallal Belabed. Virtual Link Embedding in Collaborative Sliced Multi-Administrative Multi-Domain Networks. In *39th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing*, SAC, pages 1088–1095, New York, NY, USA, May 2024.
- [RCRGS24] Sabine Randriamasy, Luis M. Contreras, Jordi Ros-Giralt, and Roland Schott. Joint Exposure of Network and Compute Information for Infrastructure-Aware Service Deployment. Internet-draft, IETF, October 2024.
- [SDL20] Farah Aït Salaht, Frédéric Desprez, and Adrien Lebre. An overview of service placement problem in fog and edge computing. *ACM Computing Surveys*, 53(3), June 2020.
- [SLY⁺19] Gang Sun, Yayu Li, Hongfang Yu, Athanasios V. Vasilakos, Xiaojiang Du, and Mohsen Guizani. Energy-efficient and traffic-aware service function chaining orchestration in multi-domain networks. *Future Generation Computer Systems*, 91:347–360, February 2019.
- [THAT⁺23] Masoud Taghavian, Yassine Hadjadj-Aoul, Géraldine Texier, Nicolas Huin, and Philippe Bertin. An approach to network service placement reconciling optimality and scalability. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 20(3):2218–2229, 2023.
- [WPH⁺11] Christoph Werle, Panagiotis Papadimitriou, Ines Houidi, Wajdi Louati, Djamel Zeghlache, Roland Bless, and Laurent Mathy. Building virtual networks across multiple domains. In *ACM SIGCOMM conference*, pages 412–413, August 2011.