

Rapport Projet d'ouverture à la Recherche

Oussama Benaziz - Jules Bonhotal

Février 2024

Résumé

L'évolution des réseaux Wi-Fi vers des environnements plus complexes, notamment avec l'introduction du Multi-Link Operation (MLO), suscite un intérêt croissant pour l'optimisation des stratégies de distribution des flux. Notre projet avait pour but de présenter une analyse comparative des différentes politiques de gestion du trafic, telles que SLCI, MCAA et MCAB.

1 Introduction

L'évolution des réseaux Wi-Fi vers des environnements plus complexes, notamment avec l'introduction du Multi-Link Operation (MLO), suscite un intérêt croissant pour l'optimisation des stratégies de distribution des flux. Ce rapport présente une analyse comparative des différentes politiques de gestion du trafic.

Le MLO permet aux appareils d'exploiter simultanément plusieurs interfaces radio pour la transmission de données, ce qui offre des potentialités accrues en termes de débit et de réduction de la latence. Cependant, l'efficacité de cette technologie dépend largement de la stratégie de répartition des flux choisie.

Notre étude s'est basée sur l'analyse d'une sélection d'articles scientifiques, afin de comparer les performances de différentes stratégies MLO et non-MLO. Vous pouvez la retrouver à l'adresse <https://forge.univ-lyon1.fr/p2007990/ouverture-a-la-recherche>

2 Etat de l'art

2.1 Présentation du MLO

Dans le contexte des réseaux sans fil, notamment dans le cadre du Wi-Fi, une interface désigne le Point de connexion par lequel un périphérique communique avec le réseau. Chaque interface correspond à une bande de fréquences spécifique, par exemple, 2.4 GHz, 5 GHz ou 6 GHz dans le cas du Wi-Fi 6E. Les interfaces permettent aux appareils de se connecter et de transmettre des données sur des fréquences dédiées, offrant ainsi une capacité de communication sans fil.

Chaque interface est divisée en différentes bandes de fréquences appelées canaux. Chaque interface dispose de plusieurs canaux, et chaque canal a une largeur de bande spécifique sur laquelle les données peuvent être transmises. Les canaux sont utilisés pour segmenter le spectre disponible et éviter les interférences entre les périphériques voisins. En sélectionnant un canal approprié, les périphériques peuvent optimiser leurs performances en minimisant les interférences et en maximisant la qualité de la connexion sans fil.

Avec le Wi-Fi sans la fonctionnalité MLO ou Multi-Link Operation (Wi-Fi 6 et inférieurs), les appareils Wi-Fi utilisent une seule interface radio à la fois pour les transmissions de données. Cependant, ils peuvent utiliser plusieurs canaux et peuvent correspondre aux figures [1a] et [1b]. Avec l'introduction du MLO dans le Wi-Fi 7, un dispositif peut désormais exploiter simultanément plusieurs interfaces radio pour envoyer et recevoir des données sur différentes interfaces, comme présenté dans la figure [1c].

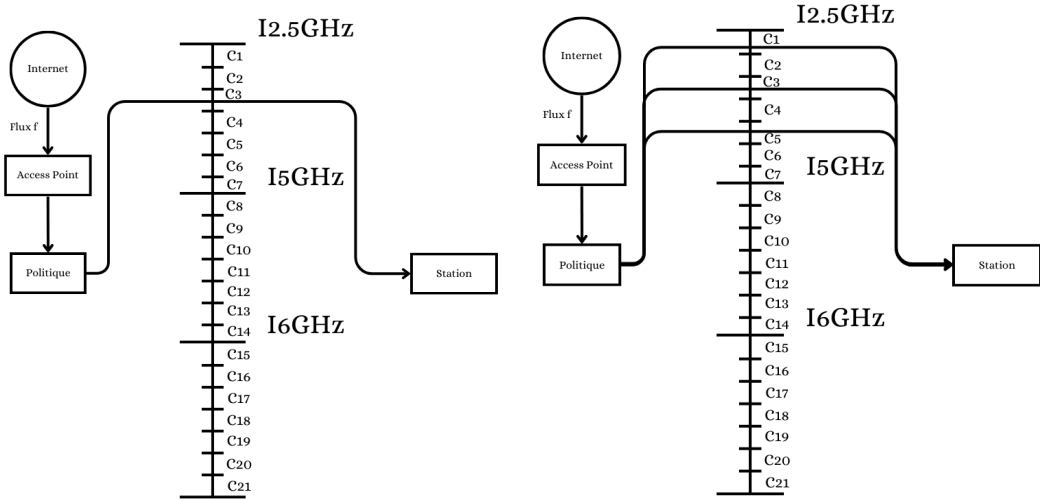
En exploitant plusieurs interfaces, le MLO vise à améliorer les débits de données et à réduire les retards de latence. Le but de ce rapport est d'évaluer si la technologie MLO offre une amélioration par rapport aux versions antérieures, mais surtout de fournir une comparaison entre les différentes méthodes de distribution des données parmi les différentes interfaces et au sein de leurs canaux.

2.2 Présentation des configurations de distribution des flux

Cette section présente les différentes configurations possibles de connexions en fonction des différentes stratégies de répartition des flux qui seront présentées dans ce document.

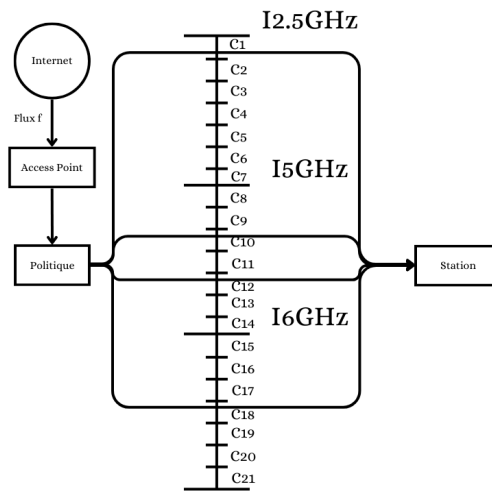
Une interface représente une bande de fréquence spécifique à laquelle un dispositif, tel qu'une station ou un point d'accès (AP), peut émettre ou recevoir des signaux. Chaque interface est associée à une technologie ou une fréquence particulière, par exemple, 2.5GHz, 5GHz, ou 6GHz.

Un canal, d'autre part, désigne une subdivision de la bande de fréquences attribuée à une interface. Chaque interface peut avoir plusieurs canaux, et le choix du canal détermine la fréquence exacte sur laquelle les communications auront lieu. La sélection du canal est un aspect crucial de la gestion du trafic dans le réseau, influençant la qualité et la performance des transmissions.



(a) Mono-Interface Mono-Canal.

(b) Mono-Interface Multi-Canal.



(c) Multi-Interface Multi-Canal.

FIGURE 1 – Comparaison des différentes Configurations.

Dans la figure [1a], on voit une station et une AP, chacune ayant trois interfaces ($12.5GHz$, $5GHz$ et $6GHz$). Chacune de ces interfaces est composée de canaux qui peuvent être utilisés pour faire transiter un flux donné.

Dans la figure [1a], le flux f arrive à une AP. L'AP décide du lien entre la station et l'AP, qui dans cette figure est le canal ($C3$) de l'interface $12.5GHz$, en fonction de la stratégie qui lui a été attribuée préalablement. L'AP et la station réservent le canal ($C3$) et le flux peut être transféré depuis l'AP vers la station.

Cette figure représente une configuration non-MLO car le flux transite via une seule interface ($12.5GHz$) et utilise un seul canal ($C3$).

La figure [1b] présente une situation similaire à la figure [1a] mais avec une politique multi-canaux.

Le flux f arrive à une AP. L'AP décide du lien entre la station et l'AP, qui dans cette figure est composé des canaux $C1$, $C3$ et $C5$ de l'interface $12.5GHz$, en fonction de sa stratégie. L'AP et la station réservent les canaux sélectionnés et le flux peut être transféré depuis l'AP vers la station via ces canaux simultanément.

Cette figure représente une configuration non-MLO et multi-canal, car le flux transite en passant par plusieurs canaux.

La figure [1c] présente une configuration Multi-Link Operation (MLO) où une station communique avec une AP via plusieurs interfaces.

Dans cette configuration MLO, le flux f arrive à l'AP. L'AP, en utilisant sa stratégie MLO, décide de répartir le trafic entre les interfaces disponibles et choisit des canaux au sein de ces interfaces. Dans la figure, les canaux $C1$ de $12.5GHz$, $C10$ et $C11$ de $5GHz$, et $C18$ de $6GHz$ sont sélectionnés pour établir le lien entre l'AP et la station. Ces canaux sont réservés par l'AP et la station, permettant ainsi au flux d'être transféré simultanément sur ces différentes interfaces.

Cette représentation illustre une configuration MLO, car le flux transite via plusieurs interfaces ($12.5GHz$, $5GHz$, et $6GHz$) et utilise plusieurs canaux ($C1$, $C10$, $C11$, $C18$).

3 Problématique

La comparaison des différentes stratégies de répartition des flux constitue une problématique centrale dans l'optimisation des réseaux Wi-Fi, en particulier avec l'introduction du Multi-Link Operation (MLO). La diversité des politiques de gestion du trafic rend complexe la détermination de leur efficacité respective. Identifier la stratégie la plus adaptée aux besoins spécifiques d'un réseau Wi-Fi implique de prendre en considération divers critères, tels que les pertes de débit ou la gestion de la congestion des canaux. Cette complexité est accentuée par l'émergence de nouvelles technologies et l'évolution constante des besoins des utilisateurs. Dans ce contexte, l'enjeu principal de notre Projet de recherche, consiste à évaluer les avantages et les inconvénients de plusieurs stratégie afin de fournir des indications sur leur efficacité relative en se basant sur les résultats que l'on a put trouvée dans les études scientifiques disponible en ligne.

4 Travail réalisé

4.1 Analyse des sources

Notre travail consistait à analyser et comparer les résultats de différentes études afin de fournir une comparaison de diverses stratégies de répartition des flux. Pour ce faire, nous avons débuté par l'analyse d'un document fourni par nos professeurs référents pour le projet. Grâce à ce document, nous avons pu mieux comprendre les enjeux du projet et le fonctionnement des MLO. Nous avons également effectué des recherches parmi les références de cette première étude pour trouver d'autres travaux sur le même sujet.

Nous avons élargi nos recherches en utilisant notamment Google Scholar. L'objectif était de repérer des études partageant idéalement des métriques et des stratégies avec celles que nous avons déjà identifiées, afin de réaliser des comparaisons plus pertinentes entre les stratégies. Notre recherche s'est concentrée spécifiquement sur les études portant sur les stratégies MLO pour que les résultats soient pertinents par rapport à notre problématique.

Par la suite, notre travail a consisté à analyser les études sélectionnées pour extraire les résultats sur les performances des stratégies. Une fois ces résultats obtenus, nous avons pu réaliser une comparaison des différentes stratégies analysées en nous basant sur leurs métriques communes dans les différentes études trouvées. Pour les stratégies pour lesquelles nous n'avons pas trouvé de correspondance dans plus d'une étude, nous nous sommes contentés de synthétiser les résultats de leur étude originale vis-à-vis des autres stratégies de cette étude.

4.2 Analyse

4.2.1 Stratégies analysée

notre analyse c'est concentrer sur les stratégies suivantes :

- **SL (Single Link)** : Le Single Link (SL) est une approche où les appareils communiquent via une seule interface sans fil et un seul canal.
- **MB-SL (Multi-Band Single Link)** : Le MB-SL introduit la capacité d'utiliser plusieurs canaux au sein d'une même interface, permettant ainsi une répartition du trafic sur différents canaux pour réduire la congestion.
- **MCAA (Multi-Channel Access with Acknowledgment)** : MCAA permet l'utilisation simultanée de plusieurs interfaces radio pour transmettre des données et équilibre le trafic en observant les différents canaux.
- **MCAB (Multi-Channel Access with Blocking)** : MCAB fonctionne de manière similaire à MCAA mais effectue plusieurs traitements sur les données de trafic avant de sélectionner les interfaces à utiliser.
- **VDS (Virtual Divisible Space)** : La stratégie VDS distingue les flux de données des flux vidéo en attribuant les flux vidéo à une interface spécifique.
- **Multi-Armed Bandits (MABs)** : Cette stratégie utilise des algorithmes de machine learning pour des décisions adaptatives basées sur les retours d'expérience.
- **MH-RSAC (Multi-Hop Relay for Spectrum Access Control)** : MH-RSAC utilise également le machine learning pour sélectionner les interfaces à utiliser, mais avec une version plus légère que MABs en termes de temps de calcul. Elle a été spécifiquement analysée dans le contexte de la transmission de données pour la réalité virtuelle.

Il est à noter que certaines de ces stratégies analysées ne relèvent pas des stratégies MLO. Bien qu'elles ne soient pas l'objet principal de notre étude, elles peuvent fournir des informations intéressantes sur les performances des stratégies MLO par comparaison.

4.2.2 Résultats

4.3 Comparaison MLO et non-MLO

Dans de nombreux articles comparant les stratégies MLO et non-MLO, les résultats penchent en faveur des stratégies MLO. Par exemple lors de la comparaison de la stratégie non-MLO SLCI avec les stratégies MLO MCAA et MCAB en se basant sur le pourcentage de satisfaction des requêtes des stations. Les résultats montrent clairement que la stratégie non-MLO SLCI présente des performances moins bonnes que les stratégies MLO. En se basant sur la perte de quantité de données transférées, on observe les mêmes résultats.

Cependant, il est important de noter que les stratégies non-MLO étaient souvent des versions simplifiées utilisées uniquement à des fins de comparaison. De plus, les stratégies non-MLO étaient souvent mises en œuvre pour mesurer leur impact sur les performances des stratégies MLO dans un réseau. Les stratégies MLO étaient quant à elles souvent choisies avec un certain degré de sélection et d'optimisation pour l'environnement donné, introduisant ainsi un certain biais en faveur des stratégies MLO. Malgré ces biais, il semble relativement évident au vu des résultats des documents analysés que les stratégies MLO sont meilleures que les stratégies non-MLO.

4.4 Débit

En termes de débit, les stratégies MCAA et MH-RSAC présentent les résultats les plus intéressants, bien meilleurs que SL, MB-SL et VDS notamment. Cependant, MH-RSAC affiche de meilleurs résultats sur la plupart des métriques analysées.

Il est important de noter que la différence de performance entre MCAA et MH-RSAC est relativement faible. De plus, cette comparaison est faite dans le cadre assez spécifique de la communication vers un casque VR, et il est difficile de dire si ces résultats seraient les mêmes dans un environnement plus conventionnel.

Nous n'avons pas non plus de comparaisons directes entre MCAB et MH-RSAC. Or, MCAB avait des résultats comparables à MCAA, et il se pourrait que dans ce contexte, il ait de meilleurs résultats.

Malgré tout, on peut affirmer avec une grande certitude que, en termes de débit, les stratégies MLO sont bien meilleures que les stratégies non-MLO, notamment SLCI avec laquelle elles sont directement comparées.

4.5 Analyse de stratégies individuelles

4.5.1 MCAA

MCAA montre de bons résultats dans toutes les références où il est étudié. On notera qu'il est notamment typiquement plus apte que MCAB et SLCI pour répartir équitablement les flux sur les différentes interfaces de l'AP. Ce qui peut être intéressant pour réduire le taux de congestion mais qui diminue un peu sa capacité à tirer profit des interfaces plus rapides.

4.5.2 MCAB

MCAB fournit aussi de bons résultats dans les références étudiées. Elle est notamment meilleure que MCAA dans les environnements qui contiennent plus de MLO. Donc, dans la mesure où la technologie MLO est probablement amenée à se démocratiser dans le futur, elle semble assez intéressante même si elle fournirait dans l'immédiat des résultats moins bons que MCAA.

4.5.3 MH-RSAC

Cette stratégie a été analysée dans le contexte assez spécifique de la transmission de données dans le cadre de la VR. Il est donc difficile de donner une opinion plus générale sur sa capacité à fonctionner dans des cadres plus communs. On peut noter cependant qu'elle fournissait de meilleurs résultats que toutes les autres stratégies auxquelles elle a été comparée.

4.5.4 MABs

Les résultats de la stratégie MABs dépasse de loin l'approche statique, indépendamment de la densité du réseau ou des exigences de trafic. Cette approche conduit à des solutions plus performantes et moins variables entre différents scénarios. De plus, elle permet d'atteindre des performances équivalentes, voire

meilleures, avec moins d'APs pour un nombre donné de stations. L'algorithme de Thompson sampling se révèle efficace même dans des scénarios adverses, renforçant ainsi la pertinence de l'approche basée sur les MABs pour résoudre les problèmes de configuration de réseau dans les WLANs d'entreprise, grâce à son adaptabilité et ses performances supérieures par rapport aux approches statiques.

5 Ce qu'on a appris

Lors de ce projet, nous avons eu l'opportunité de nous familiariser davantage avec le monde de la recherche, notamment via les différentes études que nous avons analysées et grâce aux retours de nos professeurs référents. Nous avons appris à mieux lire et comprendre des articles scientifiques, ainsi qu'à mener des recherches comparatives sur un sujet donné en utilisant ces articles.

Nous avons aussi appris beaucoup de choses dans le domaine des réseaux, notamment sur les différentes échelles de séparation des flux de données telles que les interfaces et les canaux, ainsi que sur la manière dont elles étaient utilisées pour mieux organiser le réseau.

Enfin, nous avons pu développer nos compétences de synthèse et de rédaction en cherchant à expliquer clairement les résultats de notre recherche. Une fois de plus, les retours de nos professeurs référents ont été très instructifs et nous ont permis de prendre du recul sur notre travail et de trouver les points sur lesquels notre synthèse pouvait être améliorée.

Ce projet de recherche nous a permis d'explorer une part importante du travail d'informaticien : la recherche des solutions existantes dans le monde pour résoudre des problèmes spécifiques. Nous avons rarement l'occasion de mener un travail de recherche approfondi sur une technologie dans nos autres projets, qui sont généralement axés sur l'implémentation plutôt que sur l'acquisition approfondie des connaissances dans un domaine particulier. Il était intéressant de pouvoir expérimenter cette facette de notre travail futur, en bénéficiant des retours de professionnels pour nous guider.

6 Conclusion

Ce rapport présente une analyse comparative des différentes politiques de gestion du trafic dans les réseaux Wi-Fi, en particulier dans le contexte du Multi-Link Operation (MLO).

Notre travail a permis de mettre en évidence les avantages des stratégies MLO par rapport aux stratégies non-MLO, notamment en termes de débit et de gestion de la congestion.

Cependant, il est important de noter que notre étude s'est basée sur un nombre limité d'articles scientifiques et que les résultats obtenus peuvent ne pas être généralisables à tous les contextes. De plus, nous n'avons pas pu analyser toutes les stratégies existantes et il est possible que d'autres solutions plus performantes existent.

Nous tenons à remercier nos professeurs référents pour leur soutien et leurs conseils tout au long de ce projet.